

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2010



Petra Müllerová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

Katedra hodnocení textilií

Anizotropie ohybu textilií

Anisotropy of the bending textiles

KHT poř. č. 734

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ludmila Fridrichová Ph.D.

Počet stran textu: 43

Počet obrázků: 41

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 6

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 20. 4. 2010

Podpis

.....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především Ing. Ludmile Fridrichové Ph.D. za velkou pomoc s neuvěřitelným množstvím dat a grafů vyšlých z měření. Další poděkování musí patřit i mému příteli Ing. Miloslavu Ledvinovi za technické vedení při mých někdy nereálných úvahách. Nakonec, ale jistě né v poslední řadě, pak patří poděkování také mé rodině za podporu při plnění mých snů.

Anotace

Tato práce je zaměřena, jak již název napovídá, na anizotropii ohybu textilií. Jsou zde zkoumány čtvercové i kruhové vzorky. Čtvercové vzorky jsou podrobovány dvěma testům, a to ohybu přes ostrý roh a ohybu na přístroji TH7. Výsledkem těchto dvou testů je porovnání ohybové tuhosti v osnově a útku. Kruhové vzorky jsou testovány pouze na přístroji TH7 a jejich výsledkem je ohybová tuhost vzorku měřená ve dvanácti různých směrech. Jednotlivé ohybové tuhosti vynesené do polárních diagramů pak vypovídají o anizotropii.

Klíčová slova: Anizotropie, přístroj TH7, ohyb přes ostrý roh, polární diagramy, ohyb, ohybová síla a ohybová tuhost.

Annotation

This work is specialized, which the title already prompt it, on anisotropy of the bending textiles. The square and the circular samples are surveyed here. The square samples are submitting by two tests, and that was bending over the smart corner and bending on the instrument TH7. The result of these two test is comparison flexural rigidity in the warp and in the weft. The circular samples are tested on the instrument TH7 only, and their result is bending rigidity of the sample measured in twelve different directions. The individual flexural rigidities, brought up to the polar diagram, are predicated about anisotropy.

Key words: Anisotropy, instrument TH7, bending over the smart corner, polar diagrams, bend, bending force and bending rigidity.

Seznam použitých symbolů

b	pracovní šířka vzorku
k_{Fo}	koeficient vyjadřující procentuelní podíl ohybové síly osnovy na útku
k_T	proměnná vyjadřující tvar příze v průřezu
k_1, k_2	konstanty vypočítané dle dvouosé tažné deformační teorie
l	délka měřeného vzorku při výchylce 60°C od hrany čelisti k čidlu zkušebního přístroje TH5
w	osa odpovídající ose y
t	čas
B_F	ohybová tuhost útku
B_W	ohybová tuhost osnovy
B_y, B_z	ohybové tuhosti ve směrech hlavního zakřivení a kroucení
B_θ	ohybová tuhost v úhlu θ
C_F	torzní tuhost útku
C_W	torzní tuhost osnovy
D	poddajnost
D_o, D_u	počet nití dostavy osnovy a útku
E	Youngův modul pružnosti
E_θ	Youngův modul pružnosti v úhlu θ
E_1, E_2	Youngovy moduly pružnosti v hlavních směrech
F	síla
F_a, F_b	rozdělení vnější síly F_Θ
F_{aL}, F_{bL}	rozdělení vnější síly $F_{\Theta L}$
F_i, F_{tri}	napětí v niti které vzejde z kroutivé síly
F_F	ohybová síla textilie měřená po útku
F_p	ohybová síla jedné příze
G	modul pružnosti ve smyku
I	moment setrvačnosti
J_F	konstanta pro útek vyplývající z torzního momentu
J_W	konstanta pro osnovu vyplývající z torzního momentu
K	konstanta (0,604)
M	ohybový moment
$M(x)$	ohybový moment v obecném bodě textilie
PN	počet ohýbaných nití
R	tuhost
S	plocha
V	kvantita definovaná Cooperem
$X_\Theta, X_{\Theta L}$	nově vytvořené osy po deformaci smykem
ε	deformace
θ	obecný úhel
λ	procento natažení podél osy X_Θ
λ	procento natažení podél osy $X_{\Theta L}$
σ	normálové napětí
ν_{12}	Poissonův koeficient
τ	smykové napětí
ψ_1	úhel mezi osou x_1 a tažným směrem
\square	úhel křížení
Θ	úhel vycházející z hlavních strukturních os tkaniny

Obsah

Anotace	
Místopřísežné prohlášení	
Poděkování.....	
Seznam použitých symbolů	
Obsah	6
Úvod.....	7
TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	10
1.1 Tuhost	10
1.2 Pružnost	11
2 OHYBOVÁ TUHOST TEXTILIÍ	11
3 ANIZOTROPIE	12
3.1 Anizotropie dle Shinohary	12
3.1.1 Stupeň anizotropie	13
3.2 Anizotropie dle M. Niwy a S. Kawabaty.....	15
3.2.1 Anizotropie dvouosých mechanických vlastností.....	16
3.2.2 Anizotropie jednoosých mechanických vlastností.....	18
3.3 Anizotropie dle V. Sidabraitéa.....	20
3.4 Anizotropie dle L. Fridrichové	22
3.4.1 Výpočet ohybové tuhosti	25
4 MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI	25
4.1 Přístroj TH5	25
4.1.1 Výpočet tuhosti	27
PRAKTICKÁ ČÁST	28
1 VZORKY	29
1.1 Příprava vzorků.....	29
1.1.1 Metodika pro přípravu vzorků na měření ohybové tuhosti.....	29
2 TESTY	32
2.1 Přístroj TH7	32
2.1.1 Proměření osnovy a útku na čtvercovém vzorku.....	32
2.1.2 Proměření 12 pozic na kruhovém vzorku	34
2.1.3 Obálky na vzorky.....	35
2.2 Ohyb přes ostrou hranu vlastní tíží.....	36
3 VYHODNOCENÍ TESTŮ A DISKUSE.....	38
3.1 Vyhodnocení proměření čtvercových vzorků.....	38
3.2 Vyhodnocení proměření kruhových vzorků	39
3.3 Porovnání čtvercového a kruhového vzorku	43
4 NÁVRH PŘÍSTROJOVÉHO ŘEŠENÍ OHYBU PŘES OSTRÝ ROH.....	46
4.1 Řešení s krokovým motorem	46
4.1.1 Varianta A.....	46
4.1.2 Varianta B	47
4.2 Řešení s čepem a elektromagnety	48
Závěr	49
Literatura.....	51
PŘÍLOHY	II

Úvod

Anizotropie při ohybu textilií je jednou z důležitých, nutno podotknout, že ne zcela probádaných, vlastností plošné textilie. Anizotropii tažných vlastností se, v jedné ze svých prací, věnuje i taková světová kapacita v oblasti textilu, jakou bezesporu je profesor S. Kawabata [8].

V první, tedy teoretické, části této práce jsou stručně charakterizovány některé z důležitých článků věnujících se anizotropii textilií. Ať už jde o A. Shinoharu [5], který se věnuje především teoretickému studiu anizotropie ohybové tuhosti nebo o V. Sidabraitėa [9], který se snaží předpovědět ohybovou tuhost tkanin ve dvanácti různých směrech zkoušených vzorků. V obou těchto článcích nechybí odkaz na teoretický Cooperův model [7]. Dalším z použitých článků je, výše zmíněný, M. Niwa a S. Kawabata [8], kteří se zaměřují na anizotropii tažných vlastností a na vývoj teorie deformace smykem a teorie dvouosé deformace. Všechny tyto články byly také podkladem pro práci L. Fridrichové [10], která se věnuje měření na vzorcích kruhového tvaru a poukazuje také na vliv změny průřezu zatkané příze a mezery mezi jednotlivými přízemi na ohybové chování textilie.

V teoretické části je, mimo jiné, citována norma ČSN 800858 [2], která charakterizuje práci se základním přístrojem pro měření ohybové tuhosti textilie, kterým je TH5. V praktické části je pak používán pro měření novější, upravený přístroj TH7, pro který však nebyla nalezena příslušná norma.

Praktická část se tedy věnuje především měření na přístroji TH7. Je zde vypracována metodika pro přípravu vzorků. Vzorky je možné použít jak pro měření na přístroji TH7 tak také pro měření ohybu přes ostrý roh, pro které je navrženo menší vylepšení přípravy vzorku. Vzorky jsou používány nejdříve jako čtvercové, po proměření zadaných parametrů jsou ostříhnuty na kruhové.

Čtvercové vzorky jsou podrobovány dvěma testům, a to ohybu přes ostrý roh a ohybu na přístroji TH7. Výsledkem těchto dvou testů je porovnání ohybové tuhosti v osnově a útku. Kruhové vzorky jsou testovány pouze na přístroji TH7 a jejich výsledkem je ohybová tuhost vzorku měřená ve dvanácti různých směrech. Jednotlivé ohybové tuhosti vynesené do polárních diagramů pak vypovídají o anizotropii.

Na konci praktické části jsou ještě naznačena možná přístrojová řešení vhodná pro měření ohybu přes ostrý roh. U všech řešení je třeba elektrický proud a všechny je také možné ovládat na dálku.

V závěru, a především pak v přílohách, jsou prezentovány zjištěné výsledky, a to jak grafickou tak písemnou formou. Grafickou formou je pro čtvercové vzorky rozložení tuhosti po celé matici vzorků a pro kruhové vzorky pak polární diagram vypovídající o anizotropii ohybové tuhosti jednotlivých vzorků.

TEORETICKÁ ČÁST

1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles změnit tvar a případně i objem, tedy deformovat se, v důsledku působení vnějších mechanických sil. Vnější síla vyvolává v tělese napětí σ , což vede ke vzniku odpovídající deformace ε . Matematicky lze napětí vyjádřit vztahem

$$\sigma = F / S \quad (1)$$

Jestliže je rozložení síly F v ploše namáhaného průřezu S rovnoměrné. Pokud je vztahujeme na počáteční plochu průřezu, tj. před namáháním, hovoříme o **konvenčním napětí**. Jestliže je vztahujeme na skutečnou plochu průřezu (po deformaci), pak je nazýváme **skutečné napětí**. V namáhaném průřezu působí obecně 2 druhy napětí a to, **normálové napětí** σ , působící kolmo na plochu průřezu a v rovině plochy průřezu působí **smykové napětí** τ [1].

Odpor materiálu proti deformaci charakterizuje **Youngův modul pružnosti** E , obecně definovaný jako poměr aplikovaného napětí a vzniklé deformace, tedy

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (2)$$

V různých typech mechanických zkoušek lze stanovit různé moduly, například modul v tahu, modul ve smyku, okamžitý a relaxační modul. Čím je Youngův modul pružnosti látky vyšší, tím vyššího napětí je třeba k dosažení dané deformace [1].

Inverzní veličinou k modulu je **poddajnost** D , která charakterizuje schopnost materiálu deformovat se za daných podmínek. Je definována jako poměr vzniklé deformace a aplikovaného napětí, tedy

$$D = \varepsilon / \sigma \quad (3)$$

V závislosti na druhu experimentu a způsobu namáhání můžeme stanovit například poddajnost v tahu, ve smyku, krípvou poddajnost a okamžitou poddajnost. Čím větší má látka poddajnost, tím více se při stejné velké napětí deformuje [1].

1.1 Tuhost

Tuhost R je odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment (M_X) v mN.cm [2].

1.2 Pružnost

Pružnost je schopnost textilie, ve vztahu k tuhosti, zaujmout původní tvar po skončení působení sil, způsobujících deformaci. Tato schopnost je přímo úměrná modulu pružnosti a momentu setrvačnosti průřezu dané textilie. Vyjadřuje se jako % rozdíl deformační energie vzorku při opakovaném stanovení ohybového momentu [2].

2 OHYBOVÁ TUHOST TEXTILIÍ

Ohybová tuhost textilií EI je fyzikální veličina, která se zpravidla určuje řešením diferenciální rovnice ohybové čáry s využitím experimentálně stanovených hodnot průhybu nebo sklonu této čáry [3].

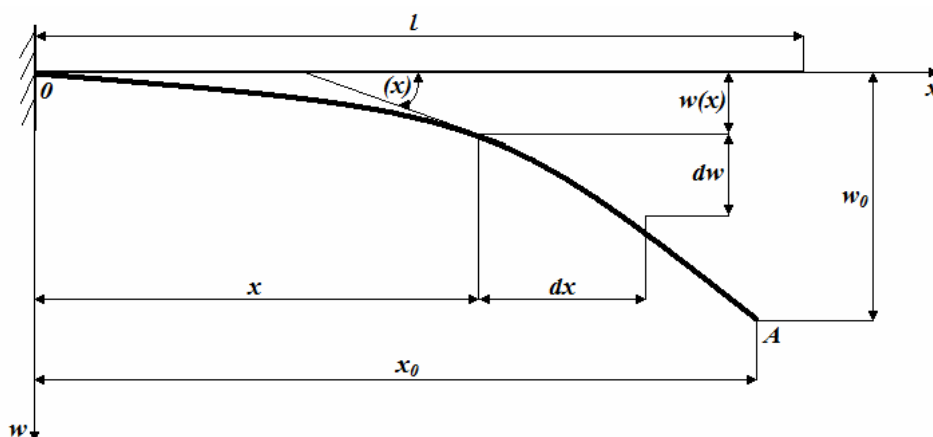
U jednosměrných textilií, jako jsou vlákna, nitě, příze a úzké pásy, určuje Hookeův zákon jen dva druhy modulů pružnosti, a to modul pružnosti v tahu a modul pružnosti ve smyku. Neexistuje modul pružnosti v ohybu, a proto se ohybové vlastnosti textilií vyjadřují prostřednictvím ohybové tuhosti EI , kde E je Youngův modul pružnosti v tahu nebo tlaku a I je moment setrvačnosti, přesněji kvadratický moment, průřezu zkoumaného vzorku textilie. Tím může být nit, příze, vlákno, ale také plošná textilie, která se upravuje do tvaru úzkého pásku konstantní šířky nebo trojúhelníku, půlkruhu a pod. Poslední dva tvary se používají u textilií s malou ohybovou tuhostí, aby výslednice působící síly tíže měla menší hodnotu [3].

Experimentální metody určování ohybové tuhosti mohou být různé. Vždy je však třeba pro určení ohybové tuhosti EI aplikovat diferenciální rovnici ohybové čáry nebo jiné závislosti, které tuto tuhost obsahují. Jednou z možností řešení této úlohy je aplikace variačních energetických metod na vzorku textilie, který je vytvořen z nitě nebo úzkého pásku stočeného do kroužku a podepřeného ve svislé poloze v jednom bodě. Vlastní tíže jej přetvoří do oválného tvaru. Pomocí Castiglianovy věty se určí prodloužení svislé osy kroužku a porovnáním se změřenou hodnotou se určí ohybová tuhost EI [Nm^2]. Metoda je však vhodná jen pro malá prodloužení svislé osy [3].

V praxi se převážně používá přibližná diferenciální rovnice

$$\frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI} \quad (4)$$

kde w charakterizuje posuv textilie kolmo na její počáteční polohu na ose x , jak je ukázáno na Obr. 1. Veličina $M(x)$ je ohybový moment v obecném bodě textilie v původní poloze. Už z toho je zřejmá nepřesnost rovnice pro materiály typu textilie [3].



Obr. 1: Schéma ohybu vetknutého nosníku (textilie).

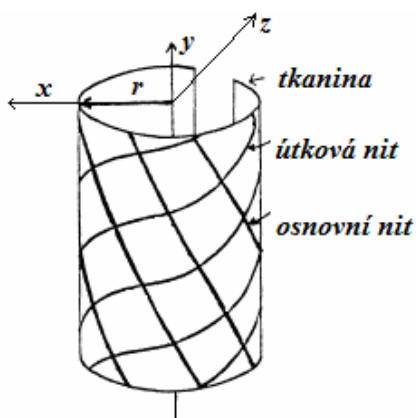
3 ANIZOTROPIE

Anizotropie je dle slovníků definována jako závislost fyzikálních vlastností látek na směru, ve kterém se měří [4].

3.1 Anizotropie dle Shinohary

Teoretickému studiu anizotropie ohybové tuhosti tkanin se věnuje ve svém článku A. Shinohara [5], který mimo jiné v úvodu článku tvrdí, že ohybová tuhost kolísá ve směru ohýbání, což je jedním z důkazů anizotropního chování textilie.

Pokud vyjdeme z předpokladu, že základní nitě jsou dokonale pružné, izotropní, nezkadeřené a v příčném řezu kruhové, a chovají se volně při mezivlákněném tření, můžeme uvažovat čistý ohyb zakřivených tkanin jako $1/R$. Osnovní a útkové nitě se ve tkanině znetvoří, ve stavu čistého ohybu, do spirál, jak je ukázáno na Obr. 2. Ohybový a kroučící moment je rovnoměrně podél niti [5].



Obr. 2: Konfigurace základních nití v čistém ohybu tkaniny, kde r je poloměr ohýbání tkaniny [5].

Směrové závislosti ohybové tuhosti tkanin se jako jeden z prvních věnoval F.T. Pierce [6]. Tato závislost lze vyjádřit rovnicí

$$\frac{1}{E_{\theta}} = \frac{1}{E_1} \cos^4 \theta + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{1}{E_2} \sin^4 \theta \quad (5)$$

kde E_1 a E_2 jsou Youngovy moduly v hlavních směrech, E_{θ} je Youngův modul pružnosti v úhlu θ , G je modul pružnosti ve smyku, ν_{12} je Poissonův koeficient. Závorku v rovnici (4) jde napsat také jako

$$\frac{1}{G} - \frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{2}{\sqrt{E_1 E_2}} \quad (6)$$

Vztah mezi moduly pružnosti a moduly pružnosti ve smyku pro izotropní pružné těleso lze vyjádřit vztahem

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (7)$$

kde E opět reprezentuje Youngův modul pružnosti a ν je Poissonův koeficient [5].

Substitucí rovnice (6) do rovnice (5) získáme vztah, ve kterém je E_1 nahrazeno geometrickým průměrem E_1 a E_2 , to je $\sqrt{E_1 E_2}$. Moment setrvačnosti nezávisí na směru, takže může být aplikován na případ ohybové tuhosti. Ohybovou tuhost v osnově B_w , útku B_F a úhlu θ B_{θ} tak můžeme vyjádřit vztahem

$$\frac{1}{B_{\theta}} = \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sqrt{B_w}} + \frac{\sin^2 \theta}{\sqrt{B_F}} \right)^2 \quad (8)$$

získaným z následujících rovnic (4) a (5) [5].

3.1.1 Stupeň anizotropie

Stupeň anizotropie je termín, který ve své práci používá A. Shinohara [5] a vychází z *Obr. 2*. Jedná se o obdélníkový zkušební vzorek ohnutý do válce, na kterém je možné popsat dvojici spirál, osnovy a útku. Základní niti jsou ve skutečnosti navlněné a složené, na *Obr. 2* jsou pak nahrazeny modelovými křivkami [5].

Za předpokladu, že nitě mají kruhový průřez a stejnou tuhost, byly odvozeny závislosti

$$\begin{aligned} B_W &= D_o B_{tW} \\ B_F &= D_u B_{tF} \\ C_W &= D_o C_{tW} \\ C_F &= D_u C_{tF} \end{aligned} \quad (9)$$

kde D_o a D_u jsou dostavy osnovních a útkových nití, B_{tW} a B_{tF} jsou ohybové tuhosti osnovních a útkových nití, B_W a B_F jsou ohybové tuhosti tkaniny vztažené na jednotku šíře a C_W a C_F jsou torzní tuhosti základní niti [5].

Pro potřeby výpočtu ohybového momentu tkaniny je nutné dodefinovat vektor ohybového momentu M , tedy

$$M = \frac{\sin \theta}{R} (B_y \sin^2 \theta + B_z \cos^2 \theta) \quad (10)$$

kde B_y a B_z značí ohybové tuhosti ve směrech hlavního zakřivení a kroucení. Z předcházející rovnice (9) jako součásti ohybového momentu osnovní a útkové niti vyplývají vztahy

$$\begin{aligned} RM_{tW} &= (B_{tW} \sin^2 \theta + C_{tW} \cos^2 \theta) \sin \theta \\ RM_{tF} &= (B_{tF} \cos^2 \theta + C_{tF} \sin^2 \theta) \cos \theta \end{aligned} \quad (11)$$

ze kterých můžeme následně odvodit ohybový moment tkaniny na jednotku šíře

$$(RM_\theta) \equiv B_\theta = B_F \cos^4 \theta + B_W \sin^4 \theta + (C_W + C_F) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \quad (12)$$

která je schodná s Cooperovou rovnicí [7] a zahrnuje i účinek zakroucení

$$B_\theta = B_W \cos^4 \theta + B_F \sin^4 \theta + (J_W + J_F) \cos^2 \theta \sin^2 \theta \quad (13)$$

kde J_W a J_F jsou konstanty vyplývající z torzního momentu [5].

Dále koeficient V definovaný Cooperem [7] souvisí s Poissonovým koeficientem dle rovnice

$$V = \frac{C_W + C_F}{B_W + B_F} \cong \frac{1}{1 + \nu} \quad (14)$$

nebo

$$V = \frac{2\sqrt{B_x B_y}}{B_x + B_y} \quad (15)$$

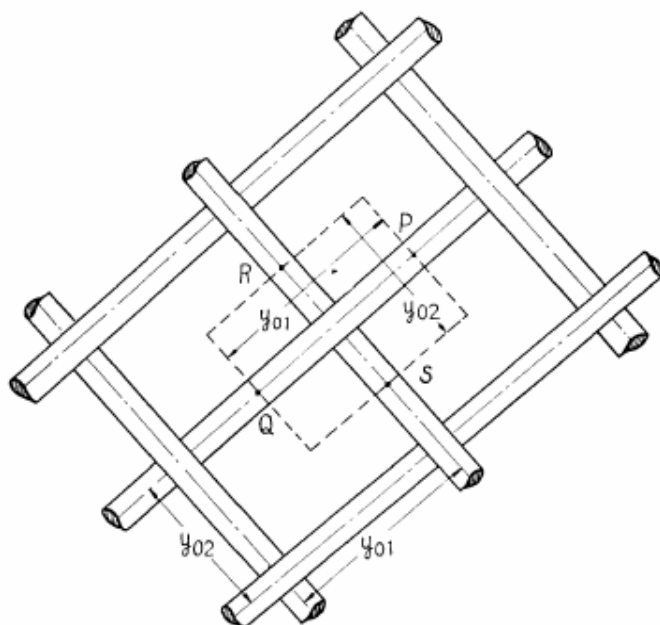
Rovnice (13) znamená, že aritmetický průměr C_W a C_F je V krát aritmetický průměr ohybové tuhosti ve směru osnovy a útku. Poissonova konstanta ideálně pružného tělesa je v rozsahu mezi 0 a 0,5, kvantita V se pohybuje mezi 0,6 a 1 [5].

Zároveň rovnice (13) ukazuje že $(C_W + C_F)$ je funkcí $(B_W + B_F)$ a Poissonova koeficientu ν . Ze zkušebních výsledků, provedených A. Shinoharou [5], bylo zjištěno, že hodnoty hustoty nití n jsou v rozsahu od 0 do 1. Pro běžné účely je vhodnější používat parametr n pro popis anizotropních vlastností ohybové tuhosti tkanin. Pevné tkaniny mají také obecně větší hodnotu n než jemné tkaniny [5].

3.2 Anizotropie dle M. Niwy a S. Kawabaty

M. Niwa [8] a S. Kawabata [8] se ve své práci zabývají anizotropií tažných vlastností tkaniny v plátnové vazbě a vývojem teorie deformace smykem a teorie dvouosé deformace.

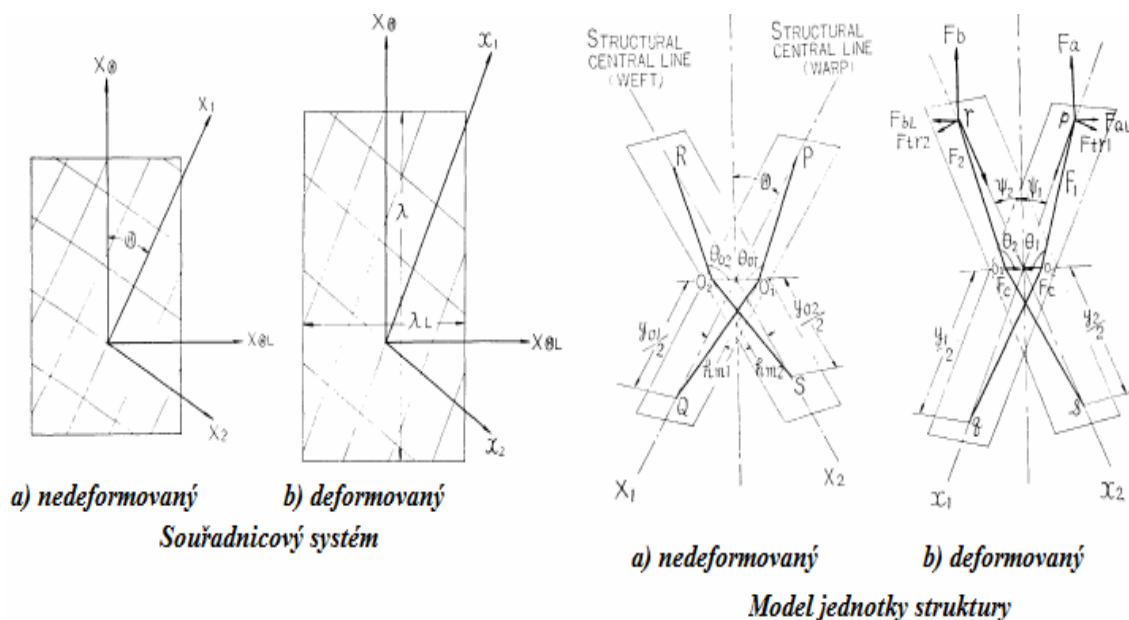
Teorie dvouosé deformace mohou být vypočítány anizotropní vlastnosti plátnové vazby v dvouosém tažném poli. Pro tento výpočet platí tři podmínky mechanických vlastností nití, tah, příčný tlak a třecí vlastnosti, samozřejmě také struktura látky. Jednotka uvažované struktury, viz Obr. 3, včetně bodu křížení, orámovaného čárkovanou linkou [8].



Obr. 3: Jednotka struktury prosté tkaniny [8].

Předpokladem pro strukturální model, dvouosé deformace a deformace smykem může být teorie „laťkové tkaniny“, vyvinutá M. Niwou [8] a S. Kawabatou [8]. Předpoklady pro tuto teorii jsou, že když se dvouosá tahová deformace dostává podél nových os X_θ a $X_{\theta L}$, strukturální centrální linky se neohýbají ale drží přímou linku.

Dalším předpokladem pak je, že úhly propletení útkových a osnovních nití se nemění se změnou úhlu křížení. Napětí v niti jsou závislá na procentu natažení podél os x_1 a x_2 a nejsou ovlivněna změnou úhlu křížení. Obr. 4 pak ukazuje souřadnicové systémy před a po deformaci včetně konstrukčních rozměrů [8].



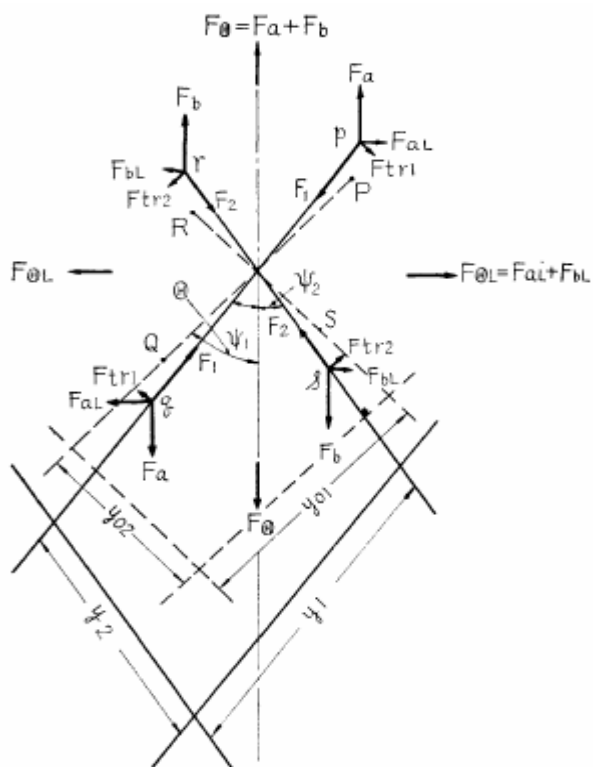
Obr. 4: Souřadnicový systém a model strukturní jednotky „látkové tkaniny“ [8].

3.2.1 Anizotropie dvouosých mechanických vlastností

Hlavní deformační stav vychází z Obr. 4 Souřadnicový systém deformovaný a Model jednotky struktury deformovaný, kde je aplikována dvouosá tahová síla. Teď jsou uvažovány hlavní tahové deformace, kde je procento natažení λ podél osy X_θ a zároveň λ_L podél osy $X_{\theta L}$, vertikální k ose X_θ . Jak je vidět z Obr. 5, body P , Q , R a S se před deformací pohybují k bodům p , q , r a s po deformaci. Vnější síly F_θ mohou být rozděleny do F_a , F_b a síly působí v p a r . Stejným způsobem je také $F_{\theta L}$ rozdělený do F_{aL} a F_{bL} . Tyto síly jsou v rovnováze s napětím v niti F_i ($i = 1, 2$) a síly F_{tri} , které vzejdou z kroutivé síly potřebné pro oběh nitě kolem bodu křížení [8].

Úhel mezi x_1 osou a tažným směrem je ψ_1 , a také je definován ϕ tak, že úhel křížení osnovy a útku se mění od ϕ do $\pi/2$ kvůli tahové deformaci tkaniny. Vztah mezi úhly je definovaný jako

$$\begin{aligned}\psi_1 + \psi_2 &= \pi/2 - \phi \\ \phi &= \phi_1 + \phi_2 \\ \phi_1, \phi_2 &> 0\end{aligned}\tag{16}$$



Obr. 5: Síly v rovnovážném stavu ve strukturní jednotce ve stavu dvouosého natažení [8].

Z Obr. 5 vycházejí následující rovnice rovnováhy

$$\begin{aligned}
 F_{\Theta} &= F_a + F_b \\
 F_{\Theta L} &= F_{aL} + F_{bL} \\
 F_a &= F_1 \cos \psi_1 + F_{tr1} \sin \psi_1 \\
 F_b &= F_2 \cos \psi_2 + F_{tr2} \sin \psi_2 \\
 F_{aL} &= F_1 \sin \psi_1 - F_{tr1} \cos \psi_1 \\
 F_{bL} &= F_2 \sin \psi_2 - F_{tr2} \cos \psi_2 \\
 \frac{y_1}{2} F_{tr1} &= \frac{y_2}{2} F_{tr2}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Z těchto rovnic rovnováhy ve stavu dvouosého natažení (F_{Θ} , $F_{\Theta L}$), s daným procentem natažení (λ , λ_L), mohou být vypočítány [8]

$$\begin{aligned}
 F_{\Theta} &= F_1 \cos \psi_1 + F_2 \cos \psi_2 + F_{tr1} \sin \psi_1 + F_{tr2} \sin \psi_2 \\
 F_{\Theta L} &= F_1 \sin \psi_1 + F_2 \sin \psi_2 + F_{tr1} \cos \psi_1 + F_{tr2} \cos \psi_2
 \end{aligned} \tag{18}$$

V první řadě budeme uvažovat, že při dvouosém napínání se y_{01} a y_{02} staly y_1 a y_2

$$y_1 = \sqrt{(y_{01} \sin \Theta \lambda_L)^2 + (y_{01} \cos \Theta \lambda)^2} \tag{19}$$

$$y_2 = \sqrt{(y_{02} \cos \Theta \lambda_L)^2 + (y_{02} \sin \Theta \lambda)^2} \tag{20}$$

Procento natažení podél hlavních strukturních přímek pak může být po dosazení vypočítáno jako [8]

$$\lambda_1 = \frac{y_1}{y_{01}} = \frac{\sqrt{(y_{01} \sin \Theta \lambda_L)^2 + (y_{01} \cos \Theta \lambda)^2}}{y_{01}}$$

$$\lambda_2 = \frac{y_2}{y_{02}} = \frac{\sqrt{(y_{02} \cos \Theta \lambda_L)^2 + (y_{02} \sin \Theta \lambda)^2}}{y_{02}}$$
(21)

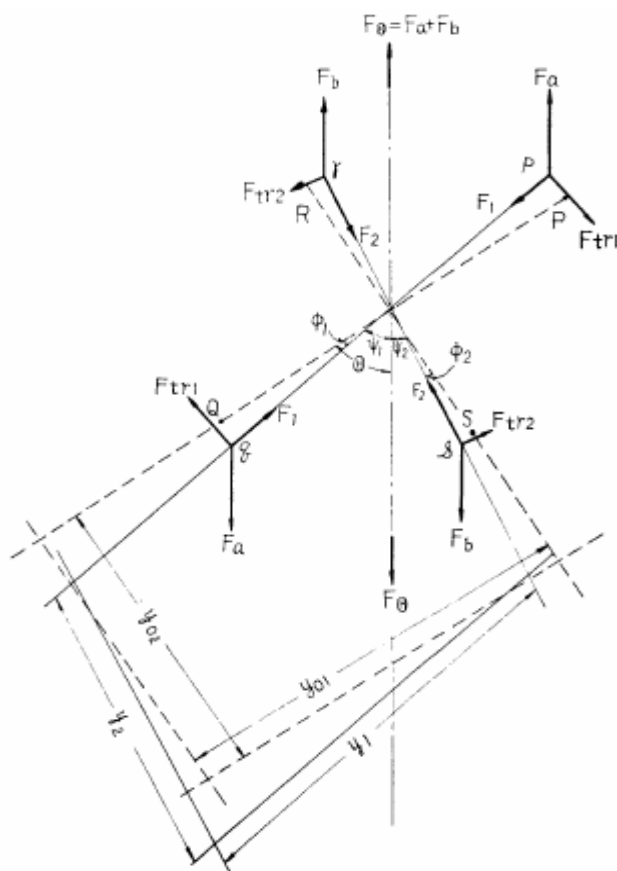
3.2.2 Anizotropie jednoosých mechanických vlastností

Jednoosá tažná deformace je zvláštním případem dvouosé deformace, kde je síla $F_{\Theta L}$ během deformace držena jako nulová

$$F_{\Theta} = F_a + F_b$$

$$F_{\Theta L} = F_{aL} + F_{bL} = 0$$
(22)

Stav rovnováhy sil ve strukturní jednotce je ukázán na Obr. 6. Vnější síla F_{Θ} se skládá ze sil F_a a F_b působících na body p a q . Obě síly F_{aL} a F_{bL} vymizí kvůli jednoosému prodloužení [8].



Obr. 6: Síly v rovnovážném stavu ve strukturní jednotce ve stavu jednoosého natažení [8].

Rovnice rovnováhy dle *Obr. 6* mají tvar

$$\begin{aligned} F_1 \sin \psi_1 - F_{tr1} \cos \psi_1 &= 0 \\ F_2 \sin \psi_2 - F_{tr2} \cos \psi_2 &= 0 \end{aligned} \quad (23)$$

který můžeme dále upravit na

$$F_1 = \frac{F_{tr1} \cos \psi_1}{\sin \psi_1}, F_2 = \frac{F_{tr2} \cos \psi_2}{\sin \psi_2} \quad (24)$$

a dosadit do rovnice [8]

$$F_\Theta = \frac{F_{tr1}}{\sin \psi_1} + \frac{F_{tr2}}{\sin \psi_2} \quad (25)$$

Je také možné poznamenat, že tkanina je deformována dvouose, ikdyž je celkové napínání jednoosé. F_1 a F_2 jsou malé a tím i napětí na niti je extrémně malé. Tkanina může být snadno natažena v nakresleném směru při použití malého množství síly tak, že natahování niti by mělo být zanedbatelné během deformace, tedy [8]

$$\begin{aligned} y_1 &= y_{01} \lambda_1, y_2 = y_{02} \lambda_2 \\ \lambda_1 &= \lambda_2 \approx 1 \\ y_1 &\approx y_{01}, y_2 \approx y_{02} \end{aligned} \quad (26)$$

Vztah mezi zatížením tahem F_Θ a procentem natažení λ , kdy se jednoosá tažná deformace dostává směrem k šikmému směru pod jistým úhlem Θ z hlavních strukturních os tkaniny může být vyjádřen, použitím rovnic (27) a (28), rovnicí (29)

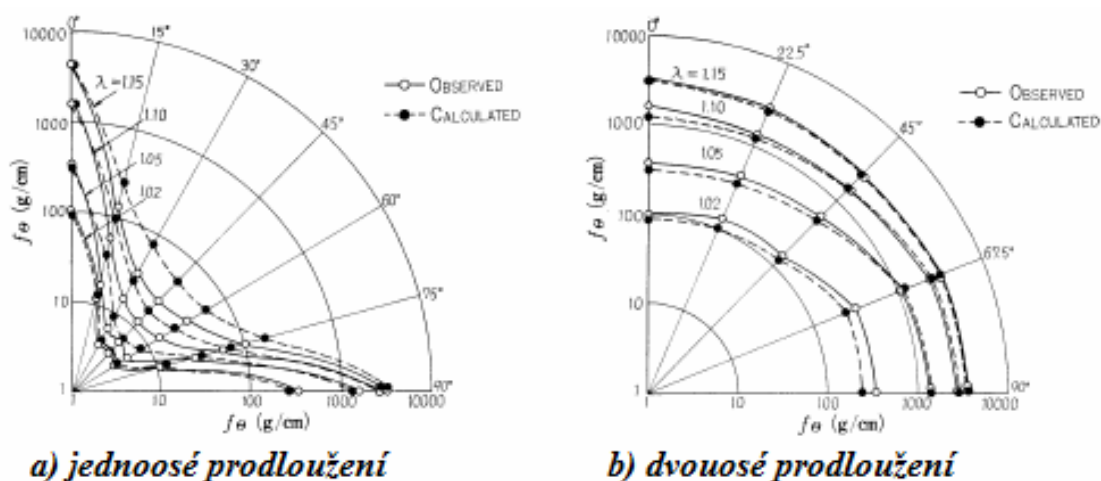
$$\psi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{y_1}{y_2} \frac{k_2}{k_1} \tan \psi_1 \right) \quad (27)$$

$$\lambda = \frac{y_1 \cos \psi_1 + y_2 \cos \psi_2}{y_{01} \cos \Theta + y_{02} \sin \Theta} \quad (28)$$

$$\lambda = \frac{y_{01} \cos \psi_1 + y_{02} \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{y_{01}}{y_{02}} \frac{k_2}{k_1} \tan \psi_1 \right) \right]}{y_{01} \cos \Theta + y_{02} \sin \Theta} \quad (29)$$

kde k_1 a k_2 jsou konstanty vypočítané dle dvouosé tažné deformační teorie a jsou závislé na tzv. deformačním módu dvouosého roztahování [8].

Obvykle je extrémní anizotropie pozorovaná ve vlastnostech při jednoosém prodloužení, ale anizotropie se ukazuje jako velmi malá i při dvouosém prodloužení, viz. *Obr. 7*

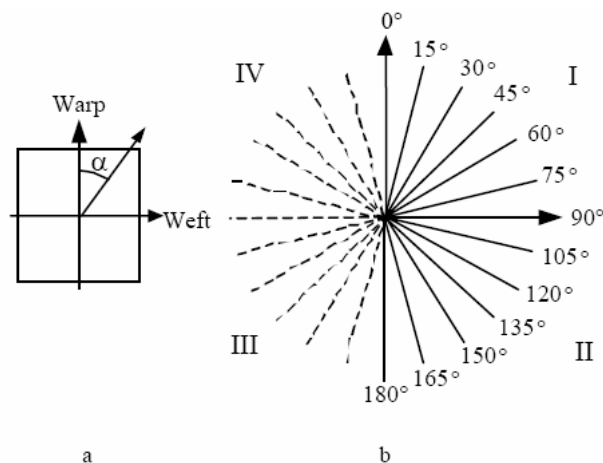


Obr. 7: Ukázka anizotropie tahových vlastností tkanin z polyesteru [8].

3.3 Anizotropie dle V. Sidabraitéa

V. Sidabraité [9] se snaží předpovědět ohybovou tuhost tkanin ve dvanácti různých směrech zkoušených vzorků. Nezvažuje však stříhovou tuhost. Získané údaje porovnává s Cooperovým [7] teoretickým modelem.

Vzorky byly stříženy ve směrech ukázaných na Obr. 8, tedy v I. a II. kvadrantu



Obr. 8: Příprava vzorku, a - směr úhlu řezu, b - dvanáct testovaných směrů [9].

V. Sidabraité [9] používá model představený D.N.E. Cooperem [7] v trochu jiné souvislosti než A. Shinohara [5]. Vycházejme z rovnice

$$B_{\alpha} = B_W \cos^4 \alpha + B_F \sin^4 \alpha + (J_1 + J_2) \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \quad (30)$$

kde B_W , B_F a B_{θ} jsou ohybové tuhosti ve směru osnovy, útku a úhlu θ . J_W a J_F jsou konstanty kvůli krouticímu momentu. Parametry B_W a B_F mohou být získány

experimentálně, ale J_W a J_F ne. Nicméně, součtem $(J_W + J_F)$ mohou být vypočítány z měření ve třech různých směrech, a to v osnově, útku a 45° . Konečná rovnice pro výpočet ohybové tuhosti ve všech možných směrech následuje zde

$$B_\alpha = B_W \cos^4 \alpha + B_F \sin^4 \alpha + [4B_\theta - (B_W + B_F)] \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \quad (31)$$

kde B_θ je ohybová tuhost ve směru 45° od osnovy nebo od útku [9].

D.N.E. Cooper [7] uvedl koeficient

$$V = \frac{(J_W + J_F)}{(B_W + B_F)} \quad (32)$$

k předpovězení směru polárních diagramů. Když tedy nahradíme $(J_W + J_F)$ hodnotou ohybové tuhosti v osnově, útku a 45° , tak se koeficient V změní tímto způsobem [9]

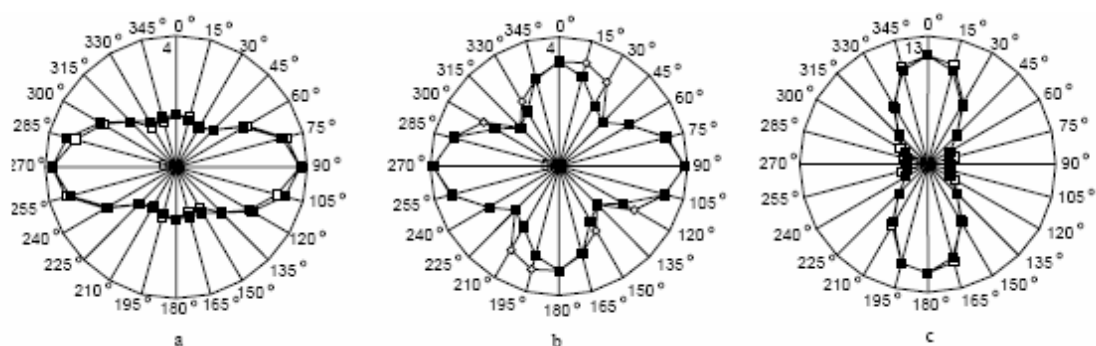
$$V = \frac{4B_\theta - (B_W + B_F)}{B_W + B_F} \quad (33)$$

Polární diagramy tkaniny s různými hodnotami ohybové tuhosti v osnově, útku a dalších směrech mají různé tvary. Tento rozdíl ukazuje anizotropii tkaniny při ohýbání. Anizotropie při ohybu ve dvou hlavních směrech může být vyjádřena procentem

$$\text{anizotropie} = \frac{B_W}{B_F} \cdot 100 \quad (34)$$

kde B_W značí hodnotu ohybové tuhosti v osnově a B_F v útku [9].

Tvary polárních diagramů jsou ukázány na Obr. 9



Obr. 9: Polární diagramy průměrné ohybové tuhosti v různých směrech (\square - zkušební výsledky, \blacksquare - teoretické výsledky).

a - viskóza 65%, polyester 35%, plátňová vazba,

b - viskóza 62%, polyester 38%, kombinovaná vazba

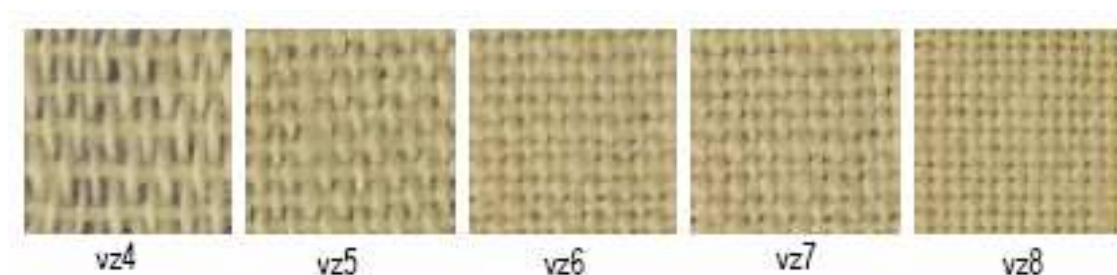
c - viskóza 100%, plátňová vazba [9].

Vodorovně orientovaný diagram a je možné popsat hodnotou $anizotropie < \frac{B_w}{B_F} < 1$. Druhý tvar polárního diagramu b signalizuje minimální úroveň anizotropie ve dvou hlavních směrech, tedy $anizotropie \cong 1$. Pro třetí, svisle orientovaný diagram c , pak platí $anizotropie > 1$ [9].

Nepatrné rozdíly mezi jednotlivými kvadranty vysvětluje V. Sidabraitė [9] efektem zakroucení nití nebo zvláštnostmi struktury tkaniny.

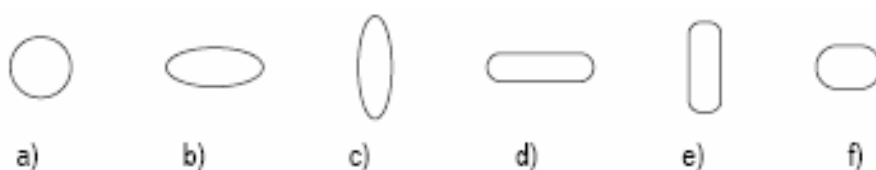
3.4 Anizotropie dle L. Fridrichové

L. Fridrichová [10] se ve své práci věnuje především tzv. nestandardnímu způsobu měření a to na vzorcích kruhového tvaru, který umožňuje proměřit ohybovou tuhost vzorku v libovolném směru, respektive zkoumat anizotropii ohybové tuhosti. V práci je poukazováno především na vliv změny průřezu zatkané příze a mezery mezi jednotlivými přízemi na ohybové chování textilie. Ukázka nafocených vzorků, použitých v této práci, je na *Obr.10*.



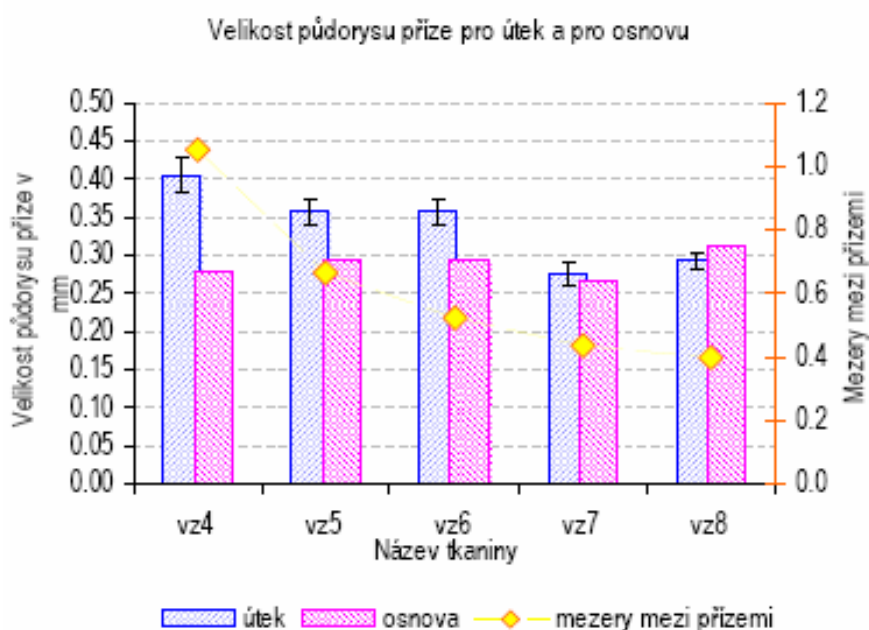
Obr. 10: Zvětšené obrázky textilie o rozměru 5x5 mm [10].

Důkazem pro výše zmíněná tvrzení je graf na *Obr. 12*. Tkaniny s nízkou hodnotou dostavy útku, což jsou první tři modré sloupce grafu, neboli $vz4$, $vz5$ a $vz6$, vykazují velké mezery mezi přízemi, čímž je umožněno, že útkové příze nabývají častěji zploštělého tvaru, který ovlivní hodnotu ohybové tuhosti, respektive ohybové síly proměřované tkaniny. Zploštělý tvar demonstrují obrazce b), d) a f) na *Obr. 11* [10].



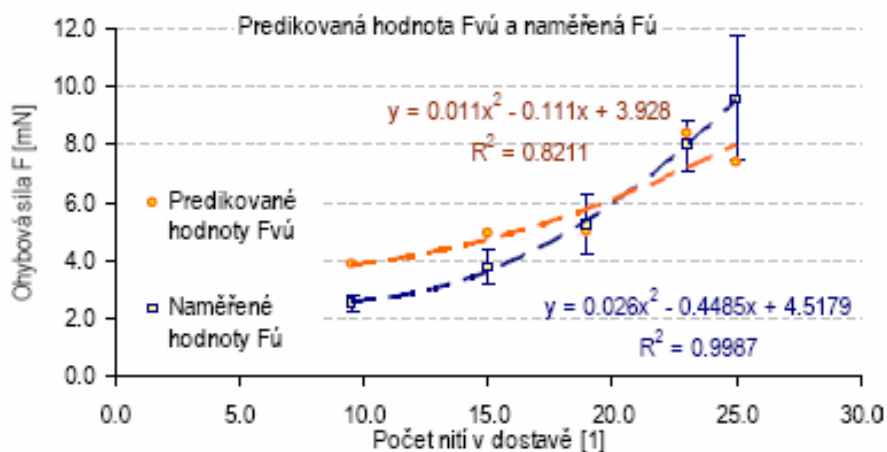
Obr. 11: Obrazce možných tvarů příze v průřezu [10].

Z Obr. 12 je zase patrné, že příze osnovní zachovávají přibližně stejný tvar půdorysu pro všechny typy tkanin bez ohledu na změnu parametrů dostavy útku. Tkaniny s vysokou hodnotou dostavy útku vykazují téměř identické šířky průmětů příze, jak pro útek, tak pro osnovu, viz. Obr. 12 poslední dva sloupce v grafu, tedy vz7 a vz8. Příze v těchto tkaninách mají spíše tvary s úzkou základnou a větší výškou, ukázané na obrázcích c) a e) na Obr. 11 [10].



Obr. 12: Graf velikosti půdorysu příze pro jednotlivé tkaniny po útku a po osnově [10].

Předpokládáme-li, že při změně struktury tkaniny u zatkané příze vždy zůstane její ideální, tedy kruhový tvar, pak by s přírůstkem nití v dostavě lineárně narůstala i její ohybová tuhost, respektive síla. Z experimentů, které byly provedeny vyplývá, že tato lineární závislost neexistuje, jak dokazuje modrá křivka na Obr. 13. A tak je v této práci naznačena hypotéza, že polynomický trend naznačených hodnot je zřejmě způsoben změnou tvaru průřezu příze, čímž dochází ke změně kvadratického momentu setrvačnosti plochy a následně se změní hodnota ohybové tuhosti, respektive ohybové síly [10].

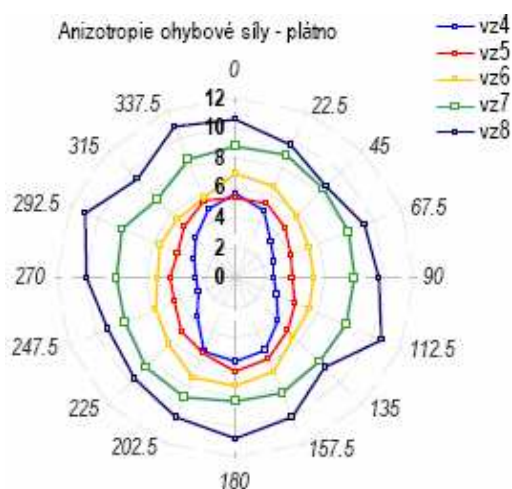


Obr. 13: Vypočtená ohybová síla tkanin s ohledem na tvar průřezu příze [10].

Fiktivní křivka přírůstku ohybové síly, pro přízi s kruhovým průřezem, je vykreslena oranžovou barvou. Křivka modré barvy, včetně chybových úseček 95%-ního intervalu spolehlivosti, jsou zaznamenány hodnoty ohybové síly na ose y, pro tkaniny s rostoucím počtem nití v dostavě na ose x [10].

Tkaniny s nižším počtem nití v útku vykazují nižší ohybovou sílu, a z grafu na Obr. 13 je také patrné, že jsou pod fiktivní hranicí ideální ohybové síly. Tkaniny s vyšší dostavou vykazují vyšší ohybovou sílu, než kterou bychom očekávali, neboli jsou nad fiktivní hranicí ohybové síly [10].

Výsledkem proměření kruhových vzorků v různých směrech jsou polární diagramy. Pro vzorky, používané ve zde citované práci [10], vychází polární diagram ukázaný na Obr. 14.



Obr. 14: Anizotropie ohybové síly na vzorcích s plátňovou vazbou [10].

Jak je patrné z polárního diagramu, vzorky s nízkou dostavou $vz4$ a $vz5$ vykazují vyšší hodnotu ohybové síly naměřené ve směru osnovních nití a nízkou hodnotu ohybové síly naměřené ve směru útkových nití. Přírůstek počtu nití v dostavě útku zvyšuje hodnoty ohybové síly ve směru útku, jak je nejlépe patrné u $vz7$. Přírůstek ohybové síly ve směru útku však není lineární, což je patrné především u $vz8$, u kterého je také patrná výrazná nesymetričnost [10].

Zvyšujeme-li počet nití v dostavě útku, při konstantním počtu nití v osnově, zvyšuje se ohybová tuhost měřená po útku, avšak do určité meze, nad tuto hranici ohybová tuhost po útku klesá. V případě této studie se projevila obdobná vlastnost u tkaniny $vz8$, kde je přírůstek ohybové síly nižší, než by se vzhledem k počtu nití dalo očekávat, z toho také plyne, že při stále se zvyšujícím počtu nití, od jisté meze, ztrácí tkanina svoji stabilitu [10].

3.4.1 Výpočet ohybové tuhosti

Naznačení možného vztahu pro výpočet ohybové tuhosti tkaniny měřené v příslušném směru. Následující vztah je autorkou navržen pro tkaninu s plátňovou vazbou

$$F_F = kT \cdot Dú^2 - F_p \cdot PN \cdot Dú + kFo \quad (35)$$

kde hodnota F_F značí ohybovou sílu textilie měřené po útku, kT je proměnná vyjadřující tvar příze v průřezu, $Dú$ označuje počet nití dostavy, hodnota F_p je ohybová síla jedné příze, PN je počet ohýbaných nití, kFo je koeficient vyjadřující procentuelní podíl ohybové síly osnovy na útku. Obdobný vztah by platil pro výpočet ohybové síly tkaniny měřené po osnově [10].

4 MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI

Základním přístrojem, používaným pro měření ohybové tuhosti, je TH5 a dále pak také TH7. Podstata, podmínky zkoušky i základní výpočet jsou uvedeny v normě ČSN 800858 [2].

4.1 Přístroj TH5

Při sledování tuhosti textilie se vzorek upevněný v čelisti zkušebního přístroje dotýká volným koncem čidla přístroje. Vzorek je namáhán na ohyb otáčením čelisti

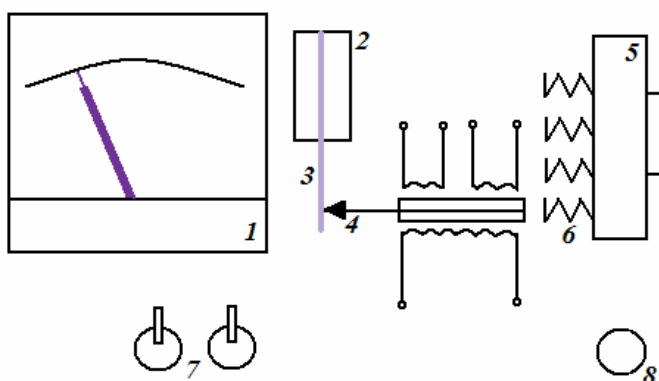
do výchylky 60° od svislé osy silou, potřebnou pro tuto deformaci zkoušeného vzorku. Konečná hodnota naměřené síly je úměrná dílkům na stupnici [2].

Při sledování pružnosti se provádí opakované měření se shodným vzorkem, přičemž se sleduje doba od zapnutí přístroje do okamžiku počáteční výchylky ukazatele stupnice z nulové polohy. Tato doba je úměrná trvalé deformaci vzorku, vzniklé při měření tuhosti. Současně se stanoví hodnota síly při druhém měření [2].

Z každého zkušebního vzorku se připravuje 24 pracovních vzorků, z toho 12 vzorků po líci a 12 vzorků po rubu o rozměrech $2,5 \times 5$ cm, vždy 6 delší stranou ve směru délky (osnovy) a 6 delší stranou ve směru šířky (útku), z nichž se vždy jeden použije pro předběžnou zkoušku. Pracovní vzorky se odebírají tak, aby v každém vzorku pro zkoušku v podélném směru (po osnově) byla jiná skupina podélných (osnovních) nití a pro zkoušku v příčném směru (po útku) byla jiná skupina příčných (útkových) nití [2].

Dále je nutno odebírat pracovní vzorky tak, aby byla zachována plná délka okrajových nití ve zkoušeném směru. U vzorovaných textilií se provádí odběr tak, aby v pracovních vzorcích byl zahrnut celkový charakter plošné textilie. Pracovní vzorky nesmí být pomačkané nebo jinak deformované [2].

Před zkouškou se musí přístroj, schématicky ukázaný na *Obr. 15*, nastavit do vodorovné polohy, seřadit ukazatel stupnice na nulu a v případě představení pružiny provést opětovné nastavení na nulu. Na každé textilii, která má být zkoušena, se musí provádět předběžná zkouška za účelem zvolení příslušné pružiny, odpovídající optimálnímu rozsahu měření. V případě zkoušení textilií s velmi nízkou tuhostí se měří bez pružiny [2].



Obr. 15: Schéma přístroje TH5, 1-stupnice pro údaj výchylky (v dílcích), 2-čelist, 3-textilie, 4-čidlo, 5-karusel s uloženými pružinami, 6-pružiny, 7-spínače pro ovládání přístroje, 8-kontrola a regulace síťového napětí [2].

Při měření tuhosti se klimatizovaný pracovní vzorek vloží do čelistí zkušebního přístroje pomocí pinzety tak, aby se horní okraj vzorku kryl s horním okrajem čelistí. Vzorek je obrácen k čidlu hranou, která se má měřit. Vkládáním vzorku do čelistí nesmí dojít k jeho deformaci. Přístroj se uvede do činnosti spínačem a sleduje se ukazatel na stupnici do doby samočinného zastavení přístroje a odečítá se maximální dosažená hodnota (F) na stupnici s přesností na 0,5 dílků. Po odečtení se vypnutím spínače vrátí do výchozí polohy [2].

Při stanovení pružnosti se opakuje měření se shodným vzorkem tak, že se přístroj uvede do chodu současně se stopkami a sleduje se doba (t) od zapnutí přístroje do okamžiku vychýlení ukazatele stupnice z nulové polohy, přičemž přístroj zůstává v chodu [2].

4.1.1 Výpočet tuhosti

Tuhost textilie se vypočte podle vzorce

$$M(x) = F \cdot K \quad (36)$$

kde $M(x)$ je ohybový moment v [mN.cm] pro šířku vzorku 1 cm, K je konstanta vypočtená ze vztahu

$$K = \frac{l}{b} \quad (37)$$

kde l je délka měřeného vzorku při výchylce 60°C od hrany čelisti k čidlu zkušebního přístroje ($l = 1,51$ cm), b je pracovní šířka vzorku. Pro normou (ČSN 800858) předepsanou šířku vzorku 2,5 cm je $K = 0,604$ [2].

Hodnota síly F je vyjádřena v [N] a odečtená v příslušné tabulce pro použitou pružinu z aritmetického průměru 5 měření, vyjádřených hodnotami dílků stupnice, zvlášť po rubu a po líci a vzlášť pro směr podélný (osnovu) a příčný (útek). Výsledné hodnoty tuhosti $M(x)$ se počítají s přesností na tři desetinná místa [2].

PRAKTICKÁ ČÁST

1 VZORKY

V této práci jsou, dále popsanými testy, zkoumány vzorky tkanin s plátňovou vazbou, ale různou hustotou provázání nití. Příze mají stejnou jemnost v osnově i útku a to 29,5 tex a zákrut Z. V *Tabulce 1* jsou pak stručně charakterizovány použité vzorky tkanin.

Tabulka 1: Charakteristika vzorků.

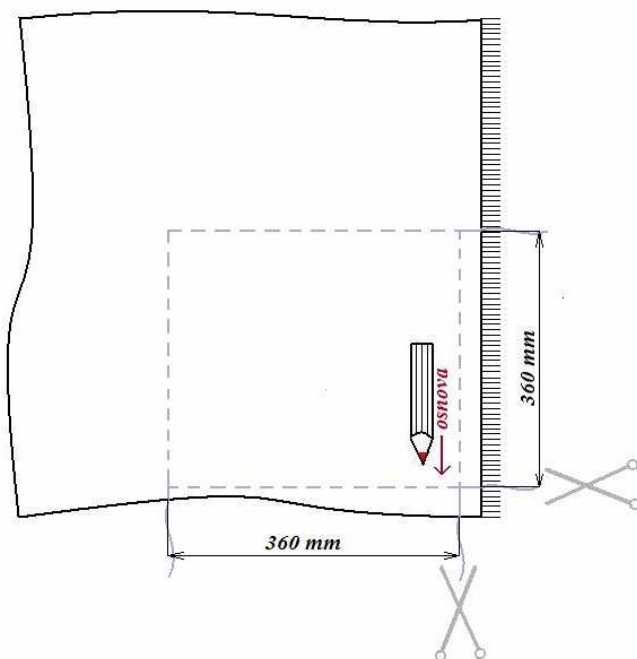
Označení vzorku	Měrná plošná hmotnost [g / m ²]	Dostava osnovy [nití / 10 cm]	Dostava útku [nití / 10 cm]
S 1	105	230	90
S 2	119	230	160
S 3	136	230	190
S 4	157	230	230
S 5	162	230	260

1.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků byla časově velmi náročná. Nejdříve byly výše popsané režné tkaniny vyprány, vyžehleny a urovnaný pomocí mandlu. Následovalo rozvržení a rozkreslení velikosti vzorků a rozkreslení úhlů, které jsou potřebné pro proměření anizotropie. Metodika přípravy vzorků je popsána níže.

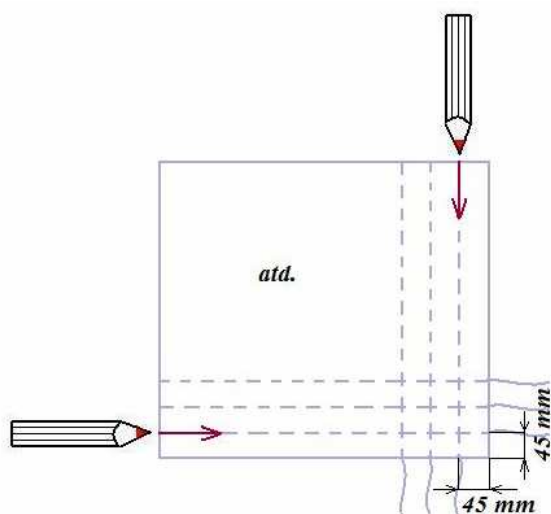
1.1.1 Metodika pro přípravu vzorků na měření ohybové tuhosti

- 1) Naznačení velikosti nerozčleněného vzorku tkaniny (360 x 360 mm pro 64 vzorků o velikosti 45 x 45 mm).
- 2) Vytažení nitek po obvodu naznačené velikosti nerozčleněného vzorku. Tato operace je důležitá hlavně kvůli přesnosti velikosti vzorků. Tkanina se různě krčí a tak by prosté narýsování velikosti vzorků bylo nepřesné.
- 3) Před vystřížením je důležité poznamenat si směr osnovy! Pozdější zjišťování je složité (počítání hustoty nití v osnově a útku) neli nemožné (u příliš hustých tkanin). Body 1 až 3 jsou ukázány na *Obr. 16*.



Obr. 16: Naznačení velikosti vzorku, vytažení hraniční nitky, vystřížení vzorku.

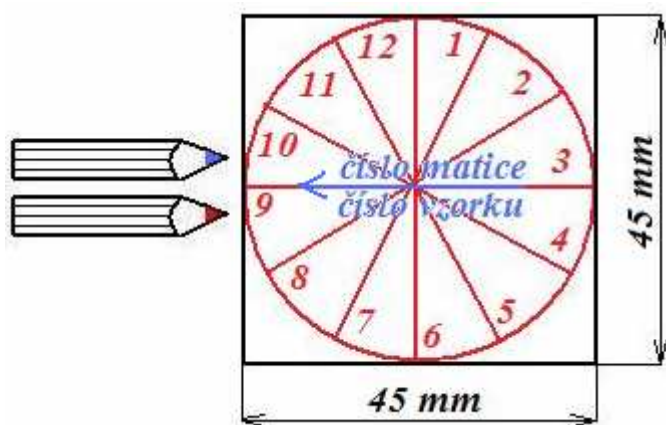
- 4) Vystřížení základního nerozčleněného vzorku (360 x 360 mm) ve volném prostoru po vytažení nitky.
- 5) Zvážení vzorku na laboratorních vahách a vypočítání měrné plošné hmotnosti.
- 6) Naznačení velikosti vzorků (45 x 45 mm) a vytažení nitek. Zvýraznění velikosti vzorků tužkou nebo fixem ve volném prostoru po vytažení nitky, jak je ukázáno na Obr. 17.



Obr. 17: Naznačení rozčlenění vzorku.

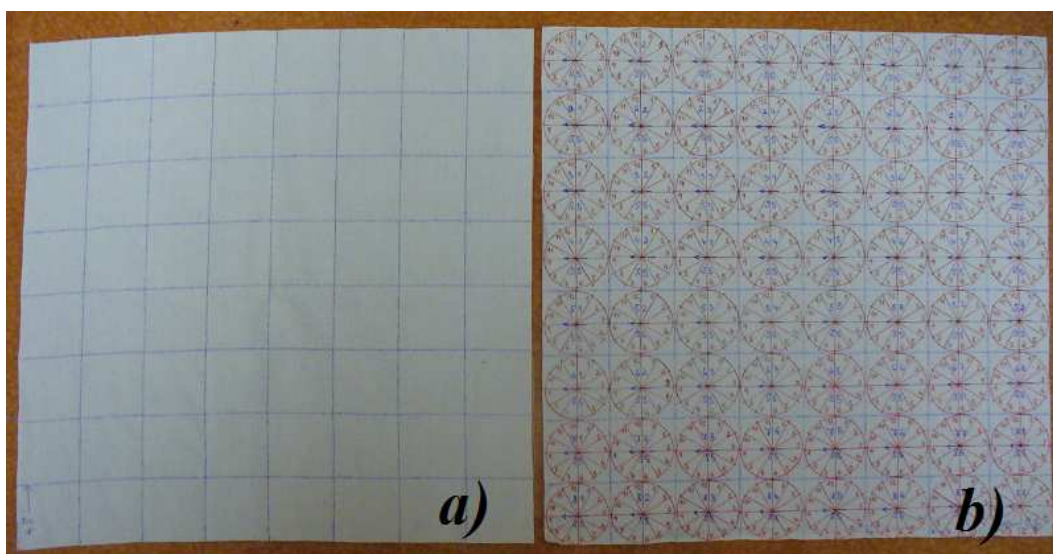
Průběžně je vhodné vzorek urovnávat pomocí mandlu. Vzorky jsou totiž po vyprání šlichty (u rezných tkanin přímo z výroby) pomačkané a různě pokroucené.

- 7) Rozkreslení úhlů (30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° , 300° , 330° a 360°) v kružnici o průměru 45 mm a jejich označení čísly 1 až 12.
- 8) Označení vzorku číslem vzorku (např. S1, S2, ...) a jeho polohou v pomyslné matici vzorku.
- 9) Naznačení směru osnovy! Body 7 až 9 jsou ukázány na *Obr. 18*.



Obr. 18: Označení a rozkreslení úhlů ve vzorku.

- 10) Rozstříhání rozčleněného vzorku na jednotlivé vzorky o velikosti 45 x 45 mm ve volném prostoru po vytažení nitky. Vzorek před rozkreslením je ukázán na *Obr. 19a*), vzorek po rozkreslení před rozstříháním je pak na *Obr. 19b*).



Obr. 19: Vzorek a) před rozkreslením a vzorek b) po rozkreslení, před rozstříháním.

2 TESTY

Všechny vzorky byly podrobeny dvěma zcela odlišným testům. Nejdříve byla proměřena ohybová tuhost na přístroji TH7 a to ve směru osnovy a útku a poté ve směrech jednotlivých úhlů, naznačených na rozkreslení vzorku. Druhým testem je ohyb vzorku přes ostrou hranu, kde je vzorek zatížen pouze vlastní tíží.

2.1 Přístroj TH7

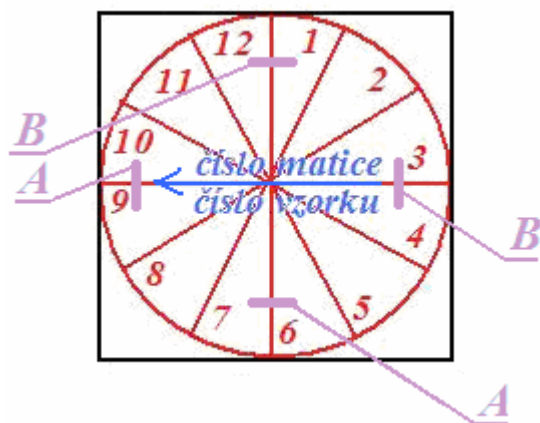
Při měření na přístroji TH7 se vycházelo z normy ČSN 800858 [2] pro přístroj TH5, která je detailněji popsána výše. Ukázka měření na přístroji TH7 viz. *Obr. 20*. Vzorky byly namáhány na ohyb při otáčení čelisti do 60°, rychlost otáčení čelisti byla 20 otáček/min, síla 40 mN. Měření probíhalo v klimatizované místnosti, tedy cca 21°C a relativní vlhkost vzduchu do 35%.



Obr. 20: Ukázka měření na přístroji TH7.

2.1.1 Proměření osnovy a útku na čtvercovém vzorku

Osnova i útek byly proměřeny ve dvou místech, naznačených na *Obr. 21*, tedy poloha A a B pro osnovu a A, B pro útek. Hodnoty z pozice B by měly potvrdit měření z pozice A. Pokud by se tak nestalo, je možné usoudit, že byla chyba buď na straně měřicího přístroje nebo lidská chyba, popřípadě je vzorek značně anizotropní, ať už vlivem nopků, nestejnomyšernosti zatkané příze nebo chybě v provázání plátňové vazby.

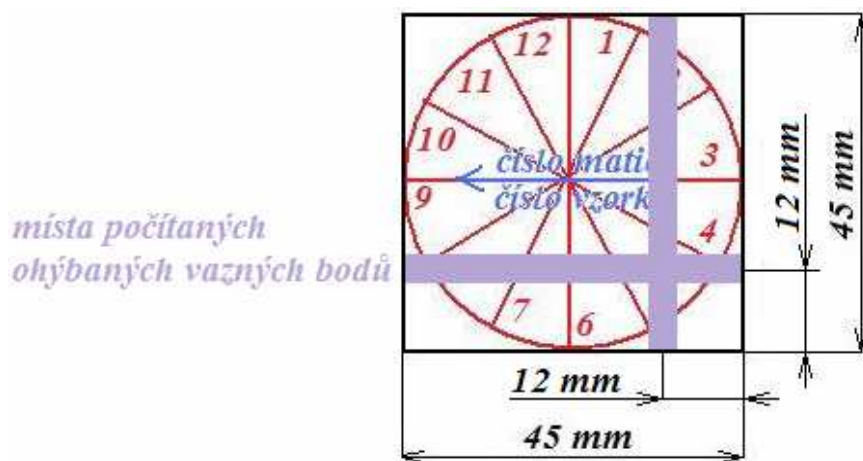


Obr. 21: Naznačení měřených míst, A a B, na vzorku.

Hodnoty, které byly získány tímto měřením, byly následně zpracovány do grafů rozložení ohybové síly na ploše matice vzorků. Grafy jsou v *Příloze 1*.

Kvůli přesnějšímu stanovení parametrů ohybu vzorku na přístroji TH7 byl spočítán i počet ohýbaných osnovních vazných bodů při měření ohybové síly ve směru osnovních a útkových nití. Vazné body byly spočítány z fotografie vzorku pomocí programu obrazové analýzy NIS ELEMENTS. Ukázka míst počítaných ohýbaných osnovních vazných bodů je na *Obr. 22*. Vazné body byly spočítány nejdříve pro čtvercový a následně i pro kruhový vzorek ve stejném místě, ale na jiné ohýbané ploše vzorku. Místo ohybu bylo určeno z fotografie, pořízené přímo při měření ohybové síly na vzorku. Tato fotografie je na *Obr. 23b*).

Výsledek počítání pro čtvercový i kruhový vzorek je vidět v následující *Tabulce 2*. Grafy vlivu počtu vazných bodů na ohybovou sílu vzorku jsou spolu s tabulkou počtu vazných bodů a příslušnými ohybovými silami umístěny v *Příloze 5*.



Obr. 22: Místa počítaných ohýbaných vazných bodů naznačená na rozkreslení vzorku.

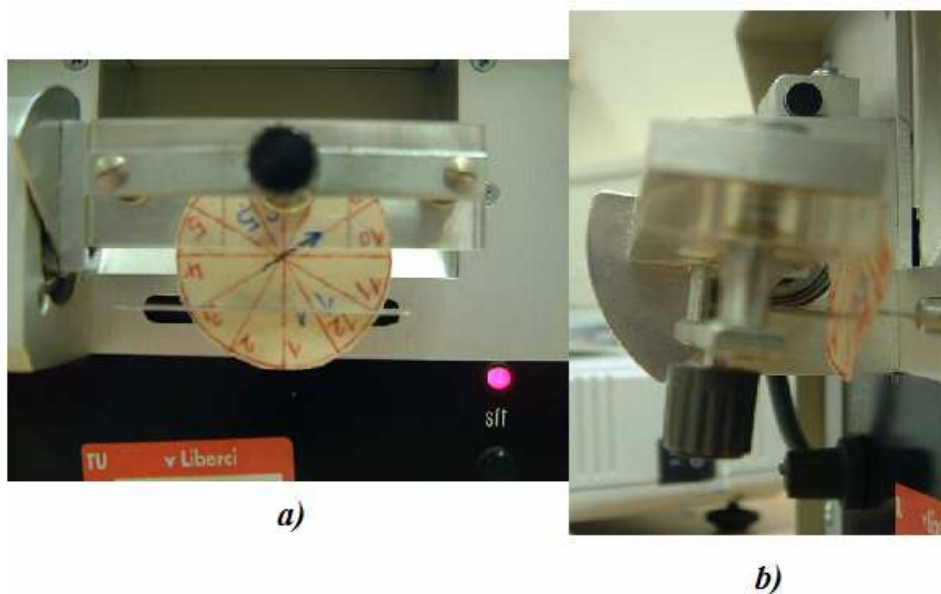
Tabulka 2: Počet ohýbaných vazných bodů a dostavy v osnově a útku.

Označení vzorku	OSNOVA			ÚTEK		
	Dostava [nití / cm]	Průměrný počet ohýbaných vazných bodů na <u>čtvercovém</u> vzorku	Průměrný počet ohýbaných vazných bodů na <u>kruhovém</u> vzorku	Dostava [nití / cm]	Průměrný počet ohýbaných vazných bodů na <u>čtvercovém</u> vzorku	Průměrný počet ohýbaných vazných bodů na <u>kruhovém</u> vzorku
S1	23	156	102	9	76	56
S2	23	242	176	16	132	106
S3	23	284	214	19	154	124
S4	23	338	264	23	192	158
S5	23	376	298	26	218	182

2.1.2 Proměření 12 pozic na kruhovém vzorku

Po proměření čtyřech míst na čtvercovém vzorku, mohly být vzorky ostříhnuty na kruhový tvar. Pro toto měření byly použity, z důvodu časové náročnosti měření, pouze vzorky z matice 6 x 6 vzorků, nikoli celá původní matice vzorků 8 x 8. Tedy proměření pozic 1, 2, 3 až 12 bylo provedeno na 36 vzorcích pro každý jednotlivý vzorek tkaniny, S1 až S5.

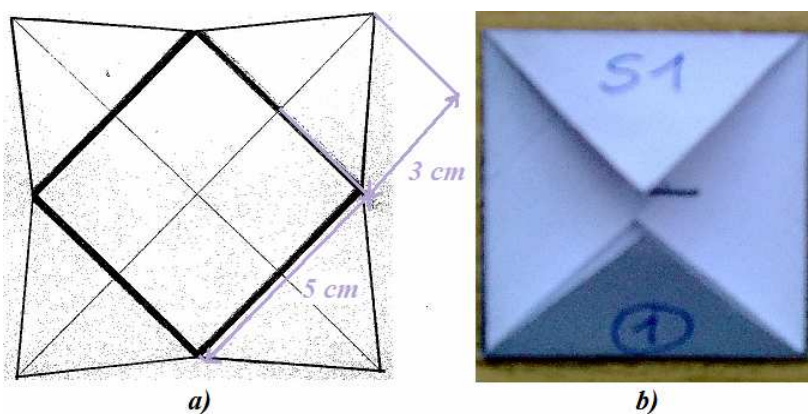
Ukázka ohybu kruhového vzorku je vidět na *Obr. 23*. U tohoto měření může nastat problém s měřicí čelistí, a to, že mezi čelistí a vzorkem není dostatečné tření a vzorek se, především na svých okrajích, dře o měřicí čelist, nitky se zachytávají o čelist a dochází tak ke zkreslování výsledné hodnoty ohybové síly. Tento problém se řeší navlečením „gumiček“ na čelisti, avšak tato úprava nebyla použita, protože by musely být upraveny i parametry měření. Takto jsou tedy všechny vzorky v této práci měřeny při naprosto shodných podmínkách a je možné jejich nezkreslené porovnání.



Obr. 23: Ukázka ohybu kruhového vzorku na přístroji TH7, a) pohled zepředu před ohybem, b) pohled z boku při ohybu.

2.1.3 Obálky na vzorky

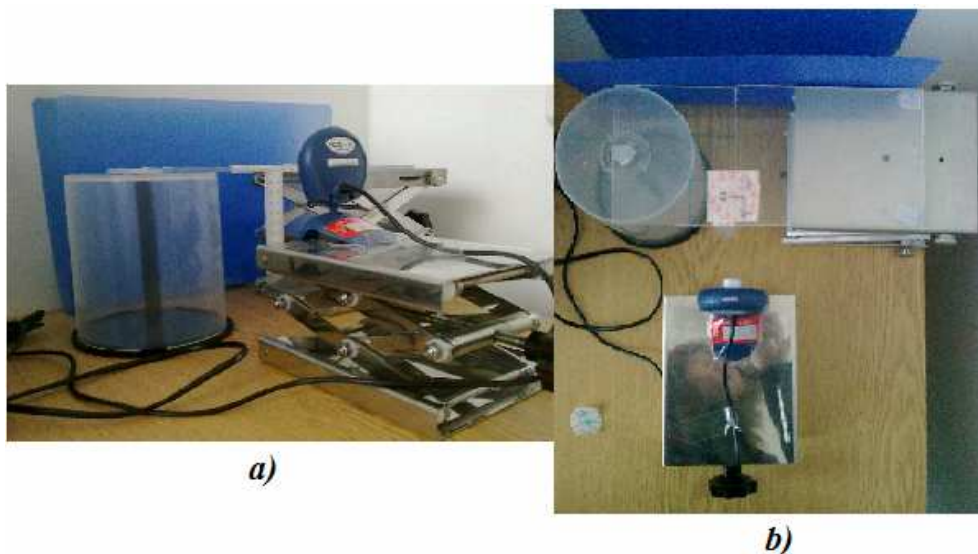
Aby nebyly vzorky jakkoliv poškozeny mezi jednotlivými testy, byly vyrobeny obálky ve velikosti odpovídající velikosti vzorku. Ukázka rozkreslení obálky je na Obr. 24a). Dva rohy obálky jsou zajištěny sponkou ze sešívačky, zbývající dva rohy jsou ponechány volně, aby se vzorky snázeji vkládaly. Vzorky byly rozčleněny do obálek po jednotlivých řadách, tedy řada 1 znamená, že v obálce jsou vzorky 11, 12, 13, až 18. Označená a připravená obálka je vidět na Obr. 24b).



Obr. 24: Obálka a) nakreslená, b) připravená pro vložení vzorků

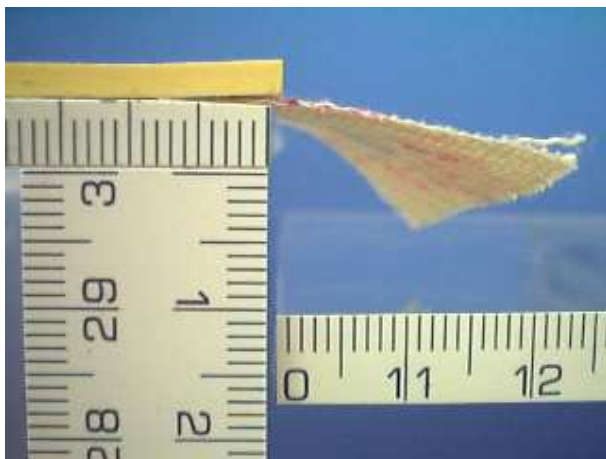
2.2 Ohyb přes ostrou hranu vlastní tíží

Pro ohyb přes ostrou hranu byla použita sestava dvou plastových stolků, které mají upravitelnou výšku, a digitální web kamery připojené online na počítač. Ke stolku jsou přilepena papírová pravítka, aby bylo možné dále zpracovat obraz výsledného ohybu vzorku. Sestava pro měření je ukázána na *Obr. 25*.



Obr. 25: Sestava stolků a kamery pro ohyb vzorku přes ostrou hranu vlastní tíží, a) pohled z boku, b) pohled z vrchu.

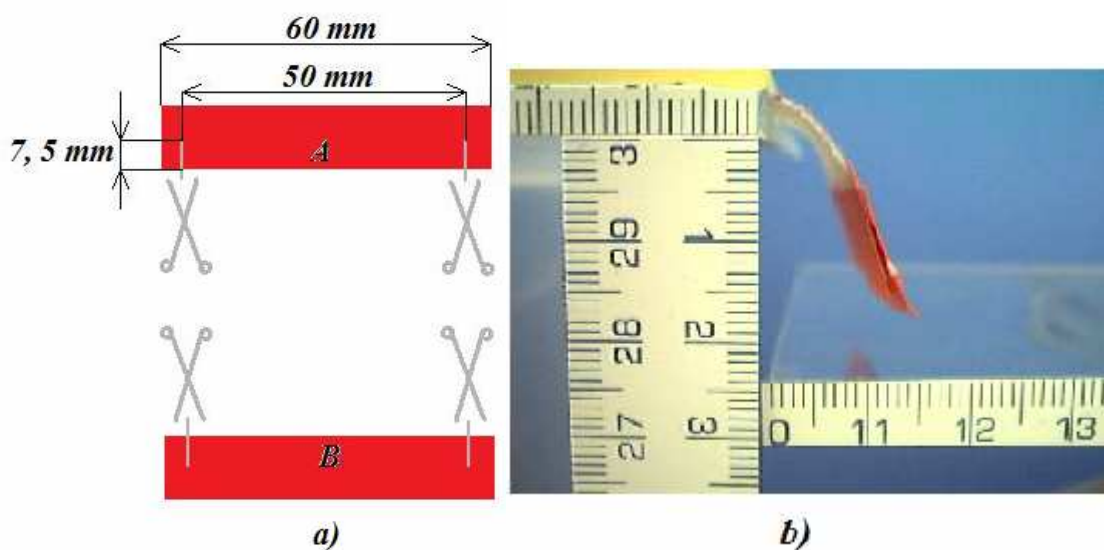
Při tomto měření vyvstává jeden základní problém. Vzorek se kroutí. Tento problém je nejlepší demonstrovat obrazově, tedy *Obr. 26*. Obraz zkrouceného vzorku se velmi špatně vyhodnocuje, není jasné v které části vzorku má být změřen úhel ohybu.



Obr. 26: Zkroucený vzorek při ohybu přes ostrou hranu vlastní tíží.

Kroucení vzorku lze zabránit několika destrukčními metodami. V dolním kraji vzorku může být nalepena tužší, například papírová, lepicí páska. Destrukce vzorku pak nastává v případě, když chceme pásku odlepit. Dochází k vytahování nitek, které je patrné především u vzorku *S1* a *S2*. Tyto vzorky mají nejmenší dostavu nití v útku. Další možností je ponořit dolní okraj vzorku například do vosku. Zde nastává ještě závažnější problém, jak bude odstraněn vosk, aby mohl být vzorek použit pro další testy a nedošlo k ovlivnění vlastností vzorku.

Jako nedestrukční metodu lze navrhnout „obleček“ pro vzorek. Jedná se o dva tvrdší papírky, které jsou do poloviny své šířky nastřížené, navlečené na vzorek a zaklesnuté do sebe. Ukázka papírků je na *Obr. 27a*), použití přímo na vzorku je na *Obr. 27b*). Tento „obleček“ lze snadno ze vzorku sundat a při troše opatrnosti nedochází k vytažení nití z okrajů vzorku.



Obr. 27: Vzorek s papírky pro zpevnění dolního okraje, a) příprava papírku, b) papírek navlečený na vzorku při ohybu.

Při použití destrukční metody s voskem, i při použití zde navržené nedestrukční metody zpevnění okraje vzorku, musí zcela nezbytně dojít ke zvážení vzorku. Vlivem úprav totiž dochází ke zvýšení váhy vzorku v dolním okraji a tím tedy i k většímu ohybu vzorku a výpočty by následně vedly k menší ohybové tuhosti. Takto získané výsledky je tedy nutné upravit a korigovat hodnoty.

3 VYHODNOCENÍ TESTŮ A DISKUSE

Vyhodnocení testů spočívá především v převedení naměřených hodnot do podoby srozumitelných grafů a tabulek. Většina grafů je uvedena v přílohách, ale jejich význam a vyhodnocení je prezentováno v této kapitole.

3.1 Vyhodnocení proměření čtvercových vzorků

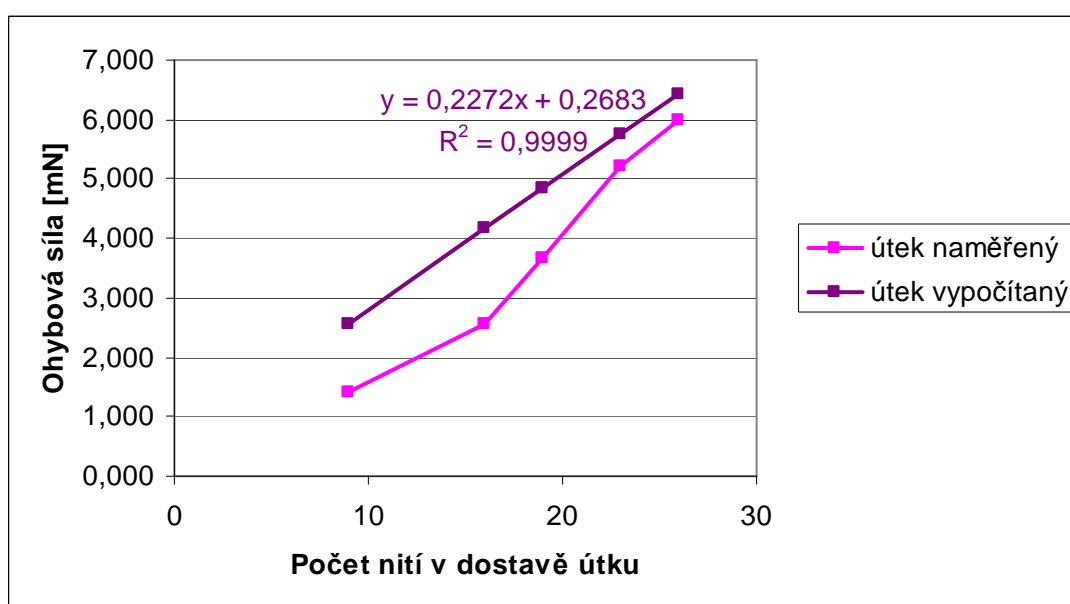
Proměření osnovy v poloze A a B, stejně tak i proměření útku v poloze A a B, ukazuje, že vzorky nevykazují výrazné rozdíly. Samozřejmě výjimky se najdou všude a tak, s odkazem na grafy v *Příloze 1*, je možné tvrdit, že měření se dají považovat za přesná.

Podrobněji k naznačeným výjimkám lze poznamenat, že

- u vzorku *S1* dochází v osnově i v útku v poloze B ke sjednocení naměřených hodnot ohybové síly v celé ploše matice vzorků, což je možné vysvětlit pravidelnějším urovnáním útkových nití vlivem manipulace se vzorkem. Níť jsou v útku, kvůli nízké dostavě, volněji uloženy ve struktuře textilie.
- u vzorku *S2* vykazuje útek, měřený v poloze A, v ohybu téměř totožnou sílu, vyvinutou na čelist, s útkem, měřeným v poloze B. V osnově však dochází k velmi zajímavému jevu, poloha B vykazuje větší sílu v ohybu než poloha A. Opět je možné toto mírné zvýšení ohybové síly vysvětlit urovnáním nití, ale spíše je tento jev možné vysvětlit nestejnou měrností příze.
- u vzorku *S3* a *S4* vykazují polohy B, jak u osnovy, tak i u útku, mírně vyšší ohybové tuhosti než byly naměřeny v polohách A. Důvod tohoto chování v ohybu je pravděpodobně totožný s těmi předchozími.
- u vzorku *S5* jsou pak ohybové tuhosti v ploše matice vzorků velmi proměnlivé. Buď místy dochází k částečnému borcení struktury, vlivem velké dostavy nití v útku, jak již naznačila ve své práci L. Fridrichová [10]. Popřípadě je to dáno větší nestejnou měrností nití v útku, a tím, že je jich větší počet, tak je i tato proměnlivost větší.

Možné borcení struktury na vzorku *S5* lze dokázat následujícím grafem na *Obr. 23*, kde je porovnána skutečná (naměřená) ohybová síla v útku a teoreticky vypočítaná ohybová síla v útku. Výpočet vývoje ohybové síly vycházel z předpokladu, že dokonale symetrická struktura nití v obou dostavách, osnově i útku, jakou vykazuje vzorek *S4*, by měla mít stoprocentní ohybovou sílu oproti ostatním vzorkům.

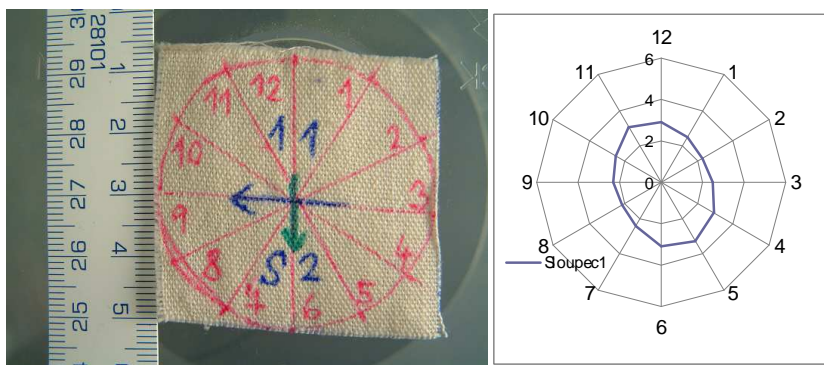
Oproti vzorku *S4* by pak nejmenší ohybovou sílu v útku měl vykazovat vzorek *S1*, kde není 23 nití v dostavě útku jako u vzorku *S4*, ale pouze 9. Nejvyšší ohybovou sílu v útku by pak měl vykazovat vzorek *S5*, který má v útku dostavu nití 26. Jak je patrné z následujícího grafu, tak skutečná naměřená ohybová síla v útku je menší než teoreticky vypočítaná ohybová síla. Zvyšování ohybové síly také neprobíhá lineárně se zvyšováním počtu nití v dostavě útku. Tímto tedy graf z *Obr. 28* potvrzuje tvrzení L. Fridrichové [10] o borcení struktury textilie. Stručně lze říci, že není třeba zvyšovat dostavu útku za hranici únosnosti struktury textilie, protože to stejně nevede k předpokládanému zvýšení ohybové síly.



Obr. 28: Graf závislosti ohybové síly na dostavě nití v útku.

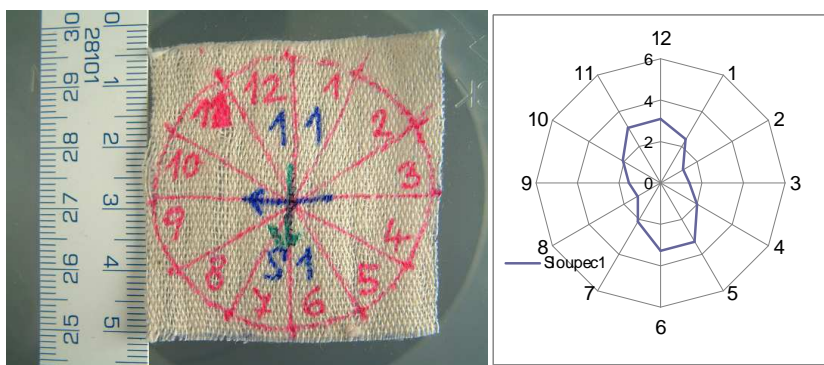
3.2 Vyhodnocení proměření kruhových vzorků

Při vyhodnocení proměření dvanácti poloh, na kruhovém vzorku, docházelo u několika vzorků zřejmě vlivem křivosti tkaniny, a tím i pozměněným smykovým vlastnostem nití ve vzorku, k posunutí nejvyšší naměřené tuhosti mimo osnovní nitě. Směr osnovy je u vzorku *S1* a *S2* naznačen tlustší zelenou šipkou, u vzorků *S3*, *S4* a *S5* pak tenkou modrou šipkou. Nejvíce se posunutí nejvyšší naměřené hodnoty ohybové síly projevovalo u vzorku *S2*. Vyfotografovaný vzorek *S2*, poloha v matici 1. řádek 1. sloupec, spolu s příslušným grafem anizotropie ohybové tuhosti je vidět na *Obr. 29*.

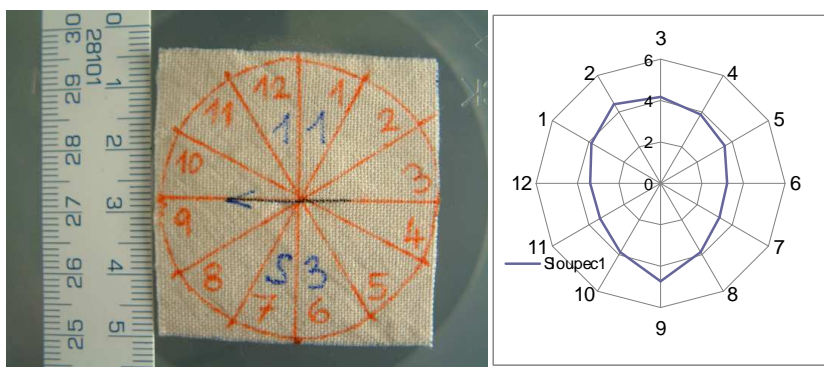


Obr. 29: Graf anizotropie ohybové síly vzorku S2 ve dvanácti různých směrech, pozice v matici 11, v porovnání s fotografií.

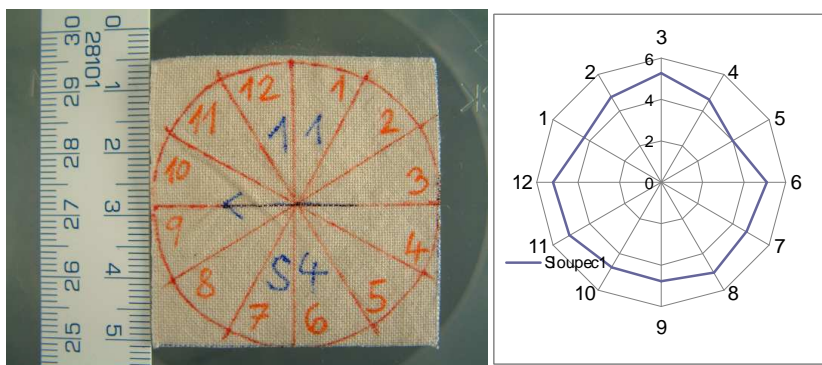
U zbývajících čtyřech vzorků pak již vychází nejvyšší naměřená ohybová síla v předpokládaném směru, tedy ve směru osnovy, který je u vzorku S1 na pozici 6 a 12, u ostatních vzorků (S3, S4 a S5) pak na pozici 3 a 9. Porovnání grafu s fotografií je možné vidět na Obr. 30, 31, 32 a 33.



Obr. 30: Graf anizotropie ohybové síly vzorku S1 ve dvanácti různých směrech, pozice v matici 11, v porovnání s fotografií.

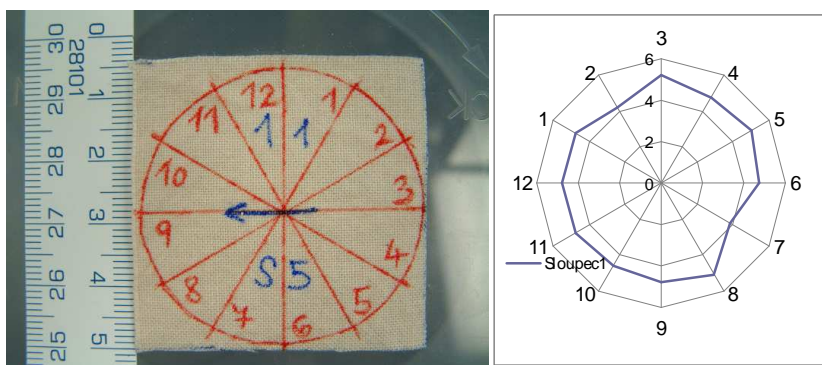


Obr. 31: Graf anizotropie ohybové síly vzorku S3 ve dvanácti různých směrech, pozice v matici 11, v porovnání s fotografií.



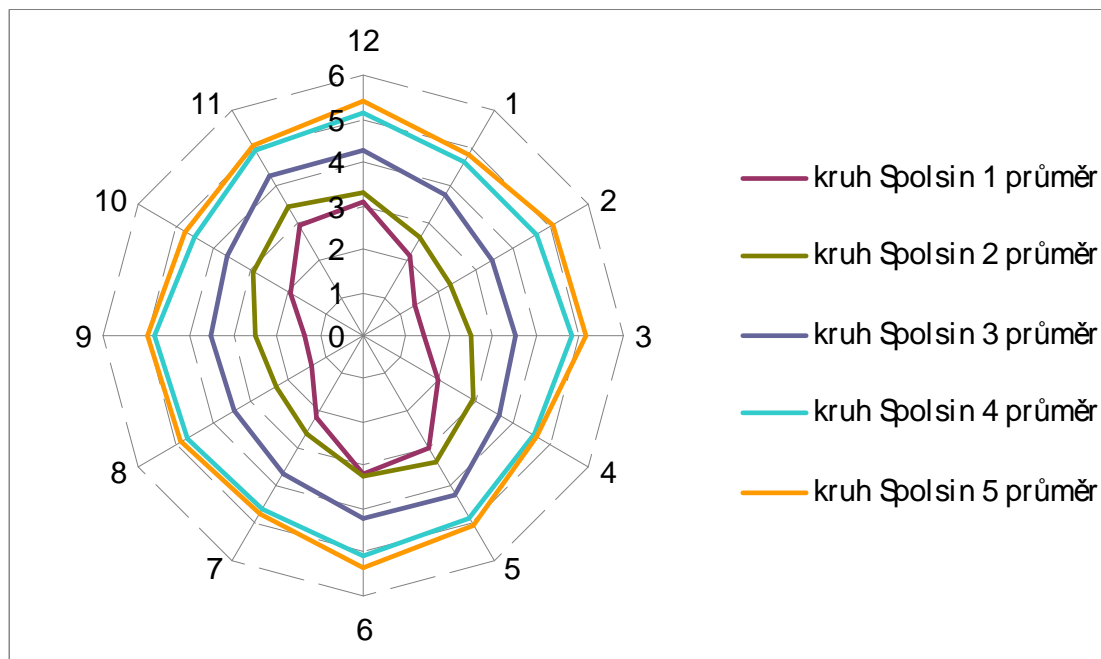
Obr. 32: Graf anizotropie ohybové síly vzorku S4 ve dvanácti různých směrech, pozice v matici 11, v porovnání s fotografií.

U vzorku S5 pak již dochází k takzvanému borcení struktury, může za to dle L. Fridrichové [10] velký počet nití v útku, tedy 26, který je větší než v osnově, tedy 23. Výrazněji je tento jev patrný z grafů v Příloze 2, kde je možné vidět porovnání vzorků v řadě.



Obr. 33: Graf anizotropie ohybové síly vzorku S5 ve dvanácti různých směrech, pozice v matici 11, v porovnání s fotografií.

Pro potřeby porovnání ohybové síly v grafu byla u všech vzorků sjednocena pozice osnovy na 12 a 6 a pozice útku na 3 a 9. Z následujícího grafu na Obr. 34 je pak nejlépe patrné posunutí nejvyšší naměřené hodnoty ohybové síly u vzorku S2 o kterém již bylo psáno výše. Graf na Obr. 34 je také možné porovnat s grafem od L. Fridrichové [10] na Obr. 14, ikdyž je na tomto grafu patrné, že proměření probíhalo v šestnácti polohách na kruhovém vzorku a ne ve dvanácti, jako v této práci. Vzorky vz4 až vz8 v grafu na Obr. 14 odpovídají vzorkům S1 až S5 v grafu na Obr. 34.



Obr. 34: Polární diagram porovnání průměrné ohybové tuhosti ve dvanácti různých polohách na vzorcích S1 (Spolsin 1), S2 (Spolsin 2), S3 (Spolsin 3), S4 (Spolsin 4), S5 (Spolsin 5).

Na první pohled jsou mezi grafem L. Fridrichové [10] a grafem, který je výsledkem měření v této práci, patrné rozdíly. Nejdříve ke vzorkům a trendům, které vycházejí shodně

- u vzorku S1 a vz4 byla naměřena shodná nejvyšší ohybová síla a to ve směru osnovy. Křivka pro tento vzorek však u L. Fridrichové [10] nevykazuje tak vyhraněné hodnoty, především v poloze 4 a 5 tedy v okolí úhlu $67,5^\circ$, jak vychází v grafu na Obr. 34 v této práci.
- u vzorku S3 a vz6 vychází shodné trendy ve všech měřených směrech. Křivky jsou také celkově velmi podobně uhlazené.

K již výše zmiňovaným rozdílům pak patří, že

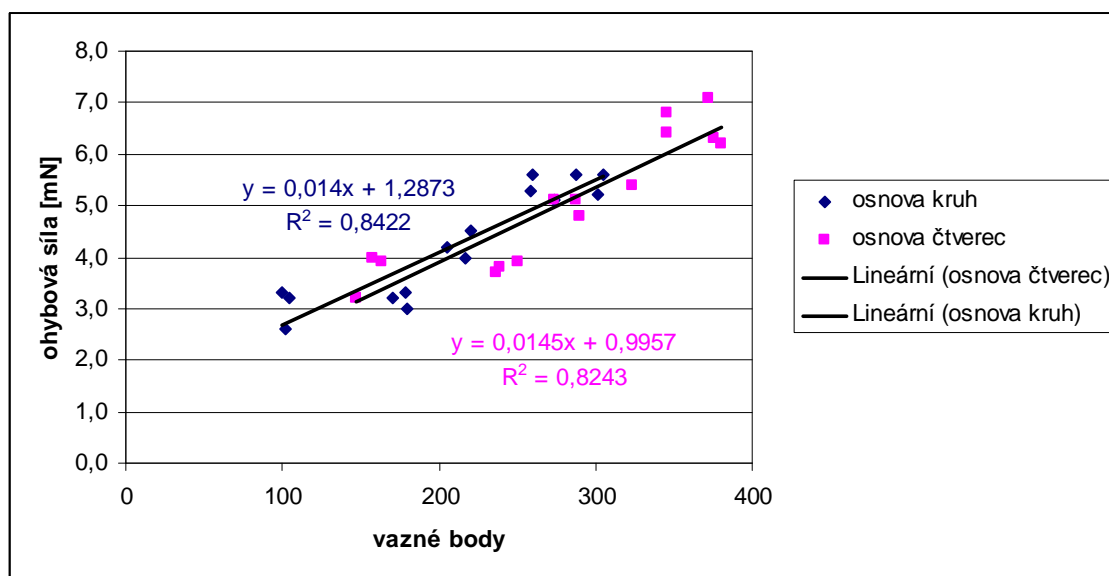
- u vzorku S2 je velmi výrazný posun nejvyšší naměřené ohybové síly, avšak u vzorku vz5 tomu tak není. Jinak je tvar křivky odpovídající. V Příloze 6 jsou prezentována opakovaná měření, potvrzující posun nejvyšší naměřené ohybové síly.
- u vzorku S4 se na první pohled může jevit určitá shoda se vzorkem vz7, ale vzorek vz7 vykazuje výrazný propad ohybové síly v poloze 315° . U vzorku S4, ale k podobnému výraznému propadu, který by se měl vyskytovat mezi pozicí 10 a 11, nedochází.

- u vzorku S5 pak nelze o jakékoliv shodě se vzorkem vz8 uvažovat.
- u vzorků vz7 a vz8 je patrný rozdíl v hodnotách ohybové síly. U vzorků S4 a S5 jsou ale křivky velmi blízko u sebe, v polohách 4, 7 a 11 se dokonce téměř překrývají, vykazují tedy téměř shodné ohybové síly.
- u grafu L. Fridrichové [10] je vidět, že naměřené ohybové síly jsou celkově větší než byly naměřeny při měření v této práci.

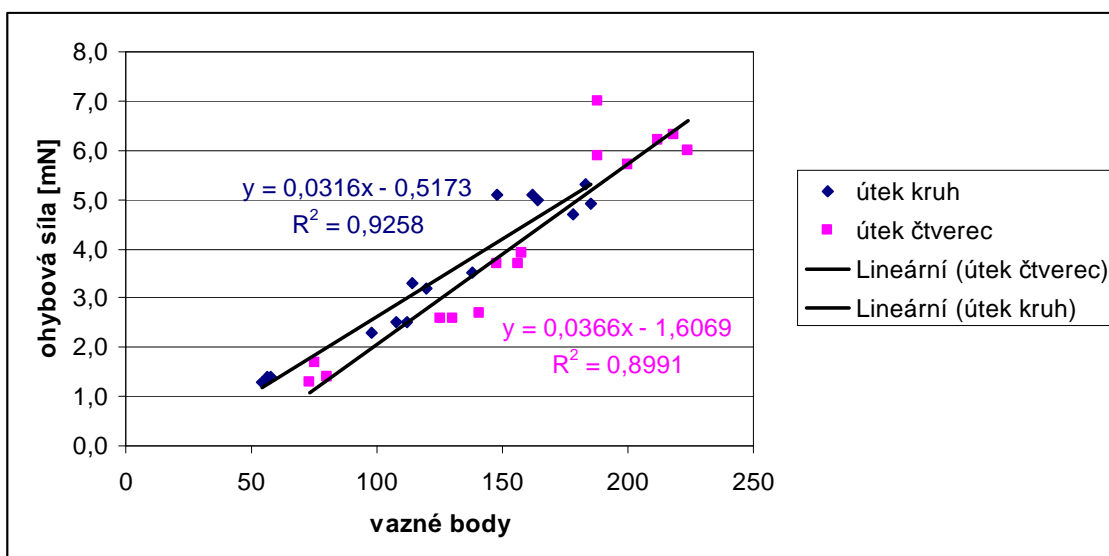
Rozdíly mezi polárními diagramy v této práci a polárními diagramy L. Fridrichové [10] by bylo možné vysvětlit nestejným počtem proměřených vzorků, pokud by ovšem soubory dat vzorků měřených po diagonále, v matici 3 x 3 a 6 x 6 vzorků nevykazovaly shodu. Grafy v *Příloze 4* ale tuto shodu vykazují, takže je toto vysvětlení nedostačující.

3.3 Porovnání čtvercového a kruhového vzorku

Ohybovou sílu je možné využít i při porovnání ohybu čtvercového a kruhového vzorku. Jak již bylo naznačeno výše, tak pro toto porovnání byl použit parametr počtu ohýbaných vazných bodů na kterých závisí příslušná ohybová síla kruhového nebo čtvercového vzorku. Z následujících porovnávacích grafů, jednotlivě pro osnovu a útek, na *Obr. 35* a *Obr. 36* je patrné, že ohybová síla na kruhovém vzorku je menší než na čtvercovém vzorku. Procentuelně je pak tento pokles zapsán v *Tabulce 3* a *Tabulce 4* a graficky znázorněn v grafech na *Obr. 37* a *Obr. 38*.



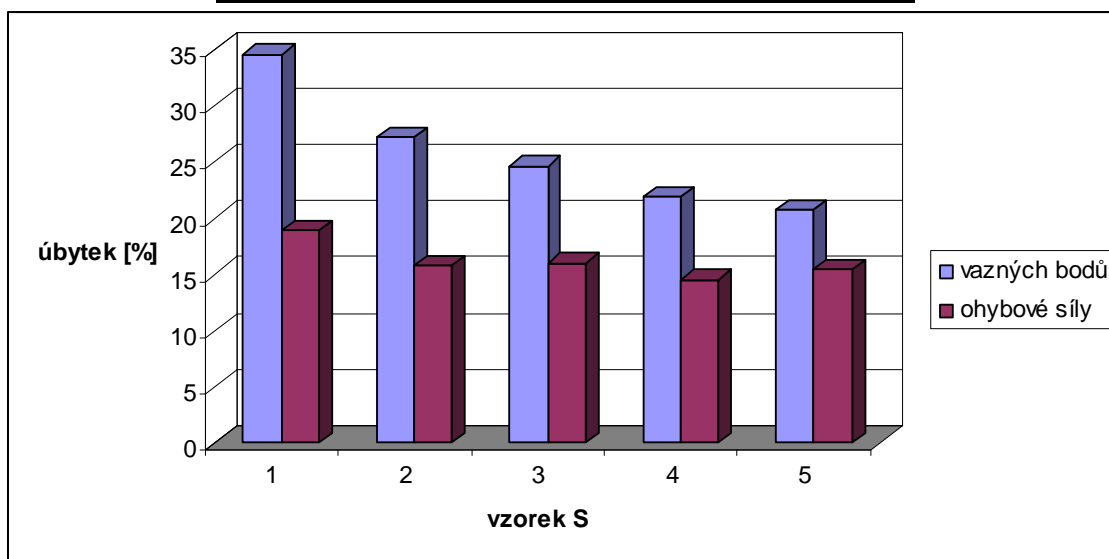
Obr. 35: Graf porovnání ohybové síly na čtvercovém a kruhovém vzorku v osnově.



Obr. 36: Graf porovnání ohybové síly na čtvercovém a kruhovém vzorku v útku.

Tabulka 3: Procentuelní pokles ohybové síly mezi čtvercovým a kruhovým vzorkem pro osnovu.

BODY			OHYBOVÁ SÍLA		
čtverec	kruh	% úbytek	čtverec	kruh	% úbytek
156	102	35	3,7	3	19
242	176	27	3,8	3,2	16
284	214	25	5	4,2	16
338	264	22	6,2	5,3	15
376	298	21	6,5	5,5	15



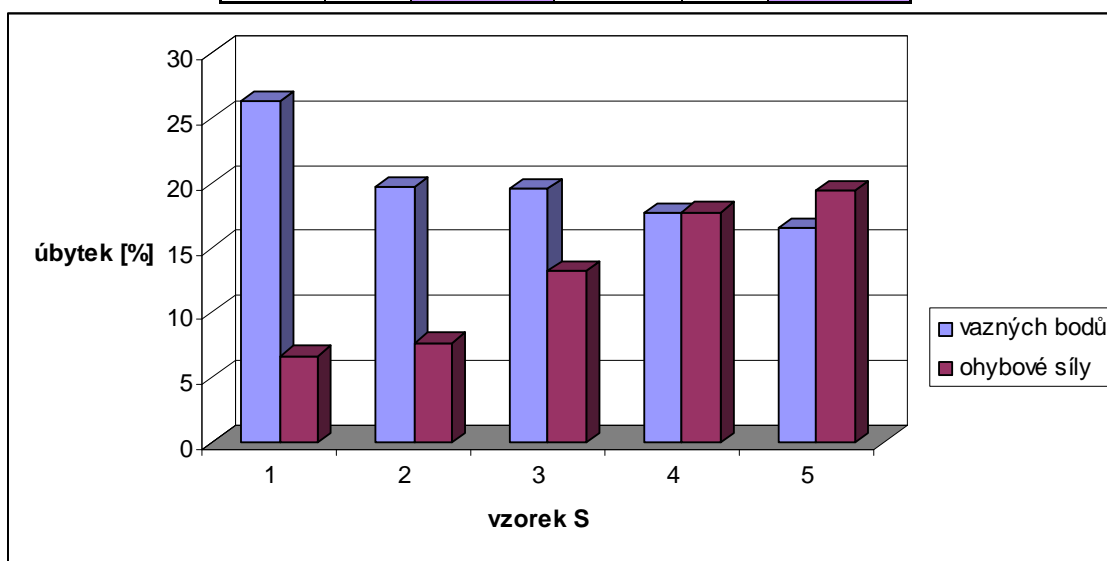
Obr. 37: Porovnání úbytku vazných bodů ku úbytku ohybové síly v osnově.

Úbytek vazných bodů v osnově mezi čtvercovým a kruhovým vzorkem má klesající tendenci, ale úbytek ohybové síly v osnově je možné považovat za konstantní nebo jen mírně klesající. Je tedy možné konstatovat, že zde hraje velmi důležitou roli celková struktura textilie a nikoliv jen vazné body, počítané ve směru osnovy. Protože pokud by záleželo pouze na vazných bodech, tak by úbytek ohybové síly měl mít stejnou tendenci poklesu jako úbytek vazných bodů.

Nesmíme také zapomínat, že osnova má u všech vzorků stejnou hodnotu dostavy nití, které také mají stejný zákrut a stejnou délkovou hmotnost. Toto opět svědčí o významné roli celkové struktury textilie, která je pochopitelně ostříhnutím na kruhový vzorek v krajích narušena a vykazuje tak nižší ohybovou sílu.

Tabulka 4: Procentuelní pokles ohybové síly mezi čtvercovým a kruhovým vzorkem pro útek.

BODY			OHYBOVÁ SÍLA		
čtverec	kruh	% úbytek	čtverec	kruh	% úbytek
76	56	26	1,5	1,4	7
132	106	20	2,6	2,4	8
154	124	19	3,8	3,3	13
192	158	18	6,2	5,1	18
218	182	17	6,2	5	19



Obr. 38: Porovnání úbytku vazných bodů ku úbytku ohybové síly v útku.

Úbytek vazných bodů mezi čtvercovým a kruhovým vzorkem má opět klesající tendenci, ale úbytek ohybové síly vykazuje opačnou tendenci. V případě počtu vazných bodů počítaných ve směru útku je tedy možné konstatovat velmi výrazný vliv vazných bodů na ohybovou sílu. Stačí aby bylo ze struktury textilie odebráno jen několik vazných bodů a ihned dochází k významnému poklesu ohybové síly. U vzorku *S4*, sloupec 4, je možné pozorovat vyrovnanou závislost úbytku počtu vazných bodů a ohybové síly. Vzorek *S4* má totiž stejné dostavy osnovy a útku, jak je možné vyčíst z *Tabulky 2*, uvedené výše.

4 NÁVRH PŘÍSTROJOVÉHO ŘEŠENÍ OHYBU PŘES OSTRÝ ROH

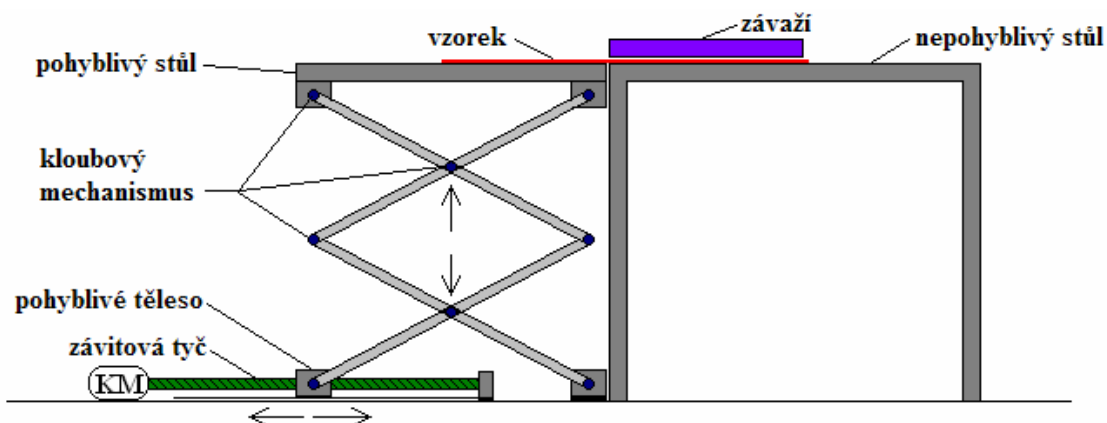
Možností, jak by se dal řešit pohyb stolku při měření vzorku, je několik. Přímo nabízející se možností, je nechat stolek samovolně, vlastní tíží, sklouznout po kolejnicích. Na dálku řešit pohyb stolku dolů je daleko jednodušší, než pohyb nahoru a tak jsou níže navrženy dvě varianty s možností pohybu nahoru i dolů a jedna varianta s pohybem pouze dolů. Vzorek je u všech variant zatížen závažím, aby při pohybu stolku směrem dolů nesklouzl.

4.1 Řešení s krokovým motorem

Obě, níže naznačené varianty přístrojového řešení pro měření ohybové tuhosti vzorku přes ostrý roh, mají možnost řízení pohybu stolku na dálku. Pohyb stolku je realizován pomocí krokového motoru.

4.1.1 Varianta A

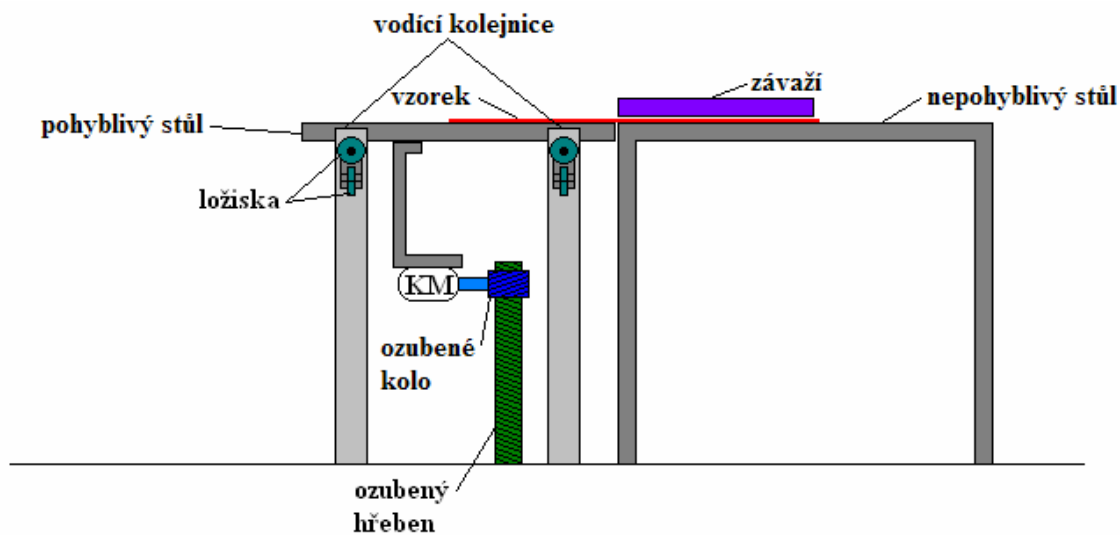
Varianta A s krokovým motorem je inspirována heverem používaným pro automobily, jak je vidět na *Obr. 39*. Místo točení pomocí kliky je zde použit krokový motor, který otáčí závitovou tyčí oběma směry. Na závitové tyči je umístěno pohyblivé těleso s vnitřním závitem. Toto těleso se pohybuje dle obrázku doprava nebo doleva. Tento pohyb je pomocí kloubových převodů transformován na pohyb nahoru a dolů. Pohyblivý stůl se zvedá při pohybu tělesa doprava a naopak klesá při pohybu doleva. Celý pohyb stolu a rychlost pohybu je možné řídit na dálku pomocí elektronického zařízení připojeného ke krokovému motoru.



Obr. 39: Náčrtek přístrojového řešení s krokovým motorem, varianta A.

4.1.2 Varianta B

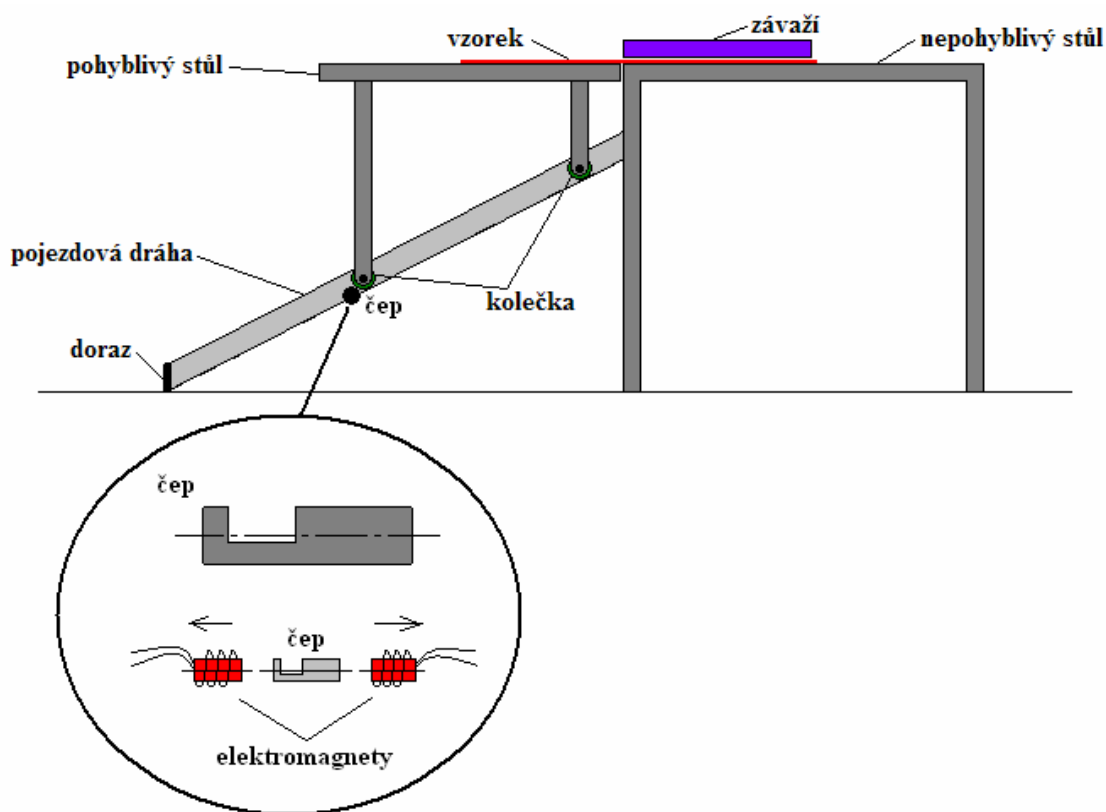
Varianta B s krokovým motorem je náročnější pokud jde o technické vybavení, její náčrtek je na Obr. 40. Pohyb pohyblivého stolu je realizován pomocí šplhání krokového motoru, na který je připojen stůl, po ozubeném hřebenu. Pevný stůl opět určuje výšku zdvihu pohyblivého stolu tak, aby byl vzorek v rovině.



Obr. 40: Náčrtek přístrojového řešení s krokovým motorem, varianta B.

4.2 Řešení s čepem a elektromagnety

Poslední z variant pohybu pohyblivého stolu je spíše určena pro pohyb směrem dolů a to svojí vlastní gravitací. Náskres této varianty je na *Obr. 41*. Pohyblivý stůl je zajištěn čepem, který je umístěn mezi dvěma elektromagnety. Čep má v sobě vytvořenou drážku, kterou projedou kolečka pohyblivého stolu. Pokud zapneme pravý elektromagnet, tak se čep přesune z polohy zajištěné do polohy otevřené a stůl se dá do pohybu. Pojezdová dráha je ukončena dorazem, který zastaví stůl v koncové poloze. Při ručním vrácení do výchozí polohy se aktivuje levý elektromagnet, který přesune čep do zajištěné polohy. Elektromagnety mohou být zapojeny do elektronického obvodu a tak řízeny dálkově. Rovina vzorku je zajištěna velmi přesně a jednoduše tak, že stůl již není možné posunout výše.



Obr. 41: Náskres přístrojového řešení s čepem a elektromagnety.

Závěr

V této práci je podán malý příspěvek ke stále probíhajícímu výzkumu anizotropie vlastností textilií, především tedy k anizotropii ohybu textilií. V teoretické části byly naznačeny články, ze kterých se pak vycházelo v praktické části. Stěžejní prací byl rukopis L. Fridrichové [10], která provedla sérii testů srovnatelných s těmi, o kterých je zde psáno.

Testy na čtvercových vzorcích poukázaly především na dva jevy, a to, že u vzorků s malou dostavou nití v útku dochází zřejmě vlivem manipulace s těmito vzorky k urovnání volněji uložených nití. Toto urovnání má pak vliv především na ohybovou tuhost naměřenou ve dvou srovnatelných polohách na osnově i na útku. Vzorky vykazují rozdílnou sílu při ohybu. Urovnáním nití se zvýší. Druhým jevem je pak borcení struktury. Zvyšování ohybové síly neprobíhá lineárně se zvyšováním počtu nití v dostavě útku. Ohybová síla přestává strmě růst jakmile jsou dostavy v osnově a útku srovnatelné.

Předpokladem zůstává, že se ohybová síla ustálí nebo bude mírně klesat se stoupajícím počtem nití v útku, především nad hranicí stejné dostavy s osnovou. Pro potvrzení tohoto předpokladu by byly potřeba provést další srovnatelné testy na vzorcích u kterých je počet nití v dostavě útku ještě mnohem vyšší než nití v osnově. Otázkou pak je zda je možné takové vzorky vůbec vyrobit, i tkací stroje totiž mají své limity a nitě v dostavě útku na sebe nelze přitlačovat donekonečna.

Kruhové vzorky jsou teoreticky i prakticky kapitolou sami o sobě. Z výsledků měření a následně zpracovaných polárních diagramů vychází předpokládané i nečekané uzavřené křivky. K těm předpokládaným patří že nejvyšší naměřená ohybová síla vychází ve směru osnovy. Toto tvrzení ale neplatí u všech vzorků. Důvod proč právě vzorek S2 vykazuje prokazatelně nejvyšší ohybovou sílu v poloze pootočené proti hodinovým ručičkám je nejasný. Jako jedno z možných vysvětlení se přímo nabízí zákrut nití, tedy Z, ale na prověření této teorie již nezbyl čas. Tato úvaha o možné další práci v souvislosti s anizotropií tak zůstává nedokončenou a čeká na svého řešitele.

Dalším z nečekaných závěrů, které lze bez debaty v tomto závěru odprezentovat je, že v podstatě nezáleží na tom kolik a jak střižených vzorků bude pro měření připraveno. Pokud tedy vezmeme 6 vzorků střižených po diagonále, tak dostaneme přibližně stejné výsledky, jako když použijeme 9 vzorků střižených ve čtverci 3 x 3 nebo 36 vzorků střižených ve čtverci 6 x 6 vzorků. Jediný rozdíl mezi výslednými

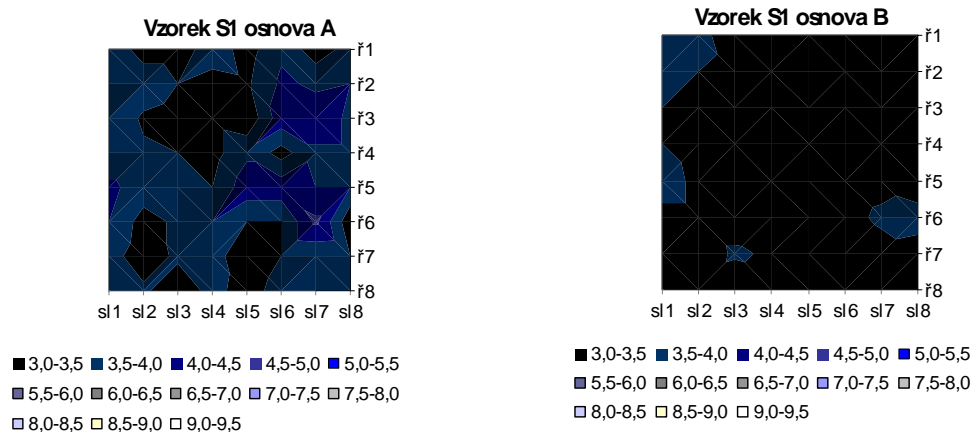
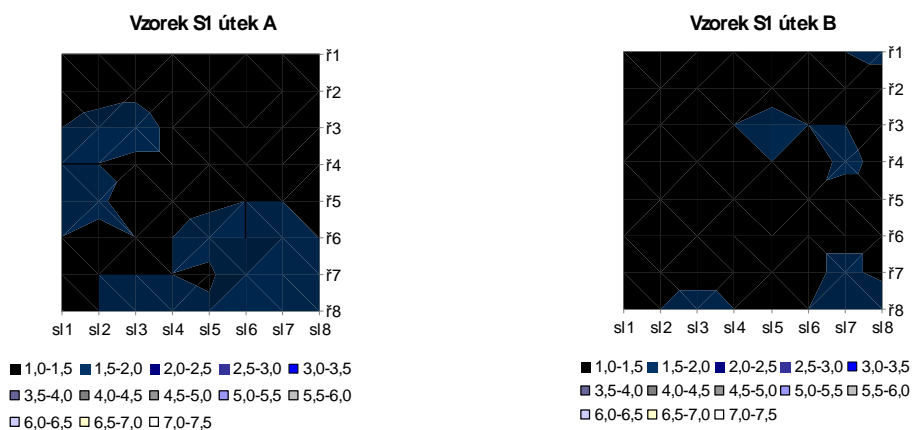
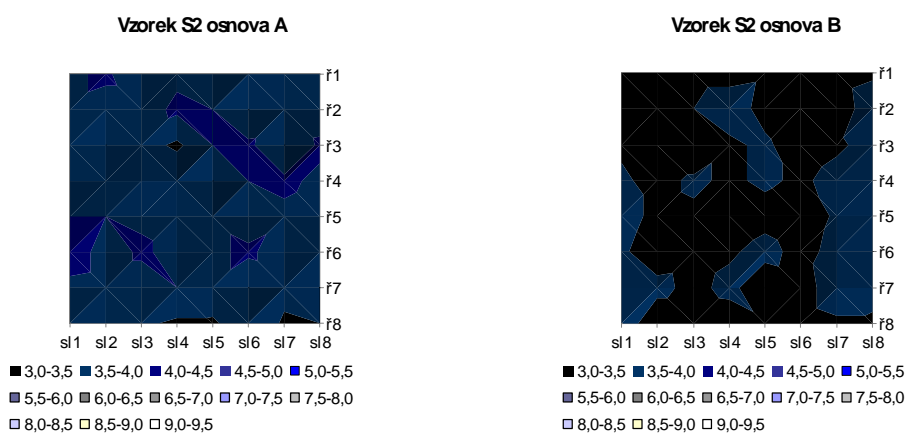
polárními diagramy bude v uhlazenosti křivek, trendy v jednotlivých směrech zůstanou zachovány.

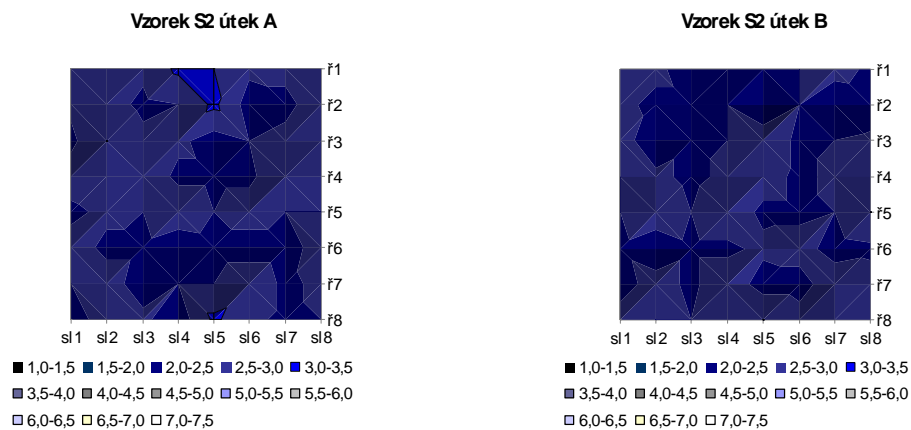
V praktické části je také popsána metoda měření ohybu vzorků přes ostrý roh. Jedná se ve své podstatě o metodu jednoduchou a značně nepřesnou. Velký vliv na tuto nepřesnost bude mít samotný člověk. Na něm totiž záleží, jak získaný obraz ohnutého vzorku vyhodnotí. I přes tato omezení je na konci praktické části navrženo přístrojové řešení ohybu přes ostrý roh tak, aby bylo možné sledovat ohýbání vzorku na dálku. Přístroj se vzorkem tak bude moci být umístěn například do vyhřáté komory nebo naopak do chladicí komory, popřípadě budou moci být simulovány jiné klimatické podmínky, což je opět předmětem dalších prací souvisejících s ohybem textilií.

Literatura

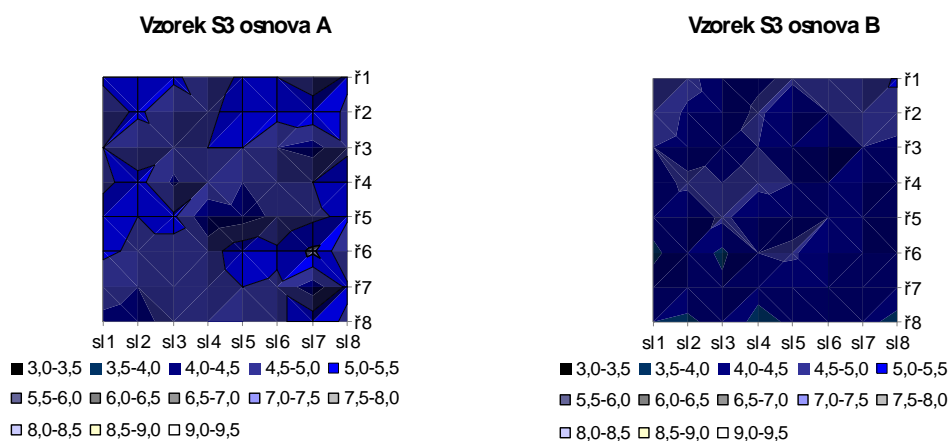
- [1] Košková, B.: Struktura a vlastnosti vláken. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1989. ISBN 80-7083-018-2.
- [2] ČSN 800858, Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií, 1974.
- [3] Stříž, B.: Přibližná metoda stanovení ohybové tuhosti textilií, STRUTEX, Liberec, 2001.
- [4] Internetová stránka: <http://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/anizotropie-anisotropie>, nalezeno 8.3. 2010.
- [5] Shinohara, A: Theoretical Study on Anisotropy of Bending Rigidity of Woven Fabrics. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Transactions, Vol.32. No. 8, T60-T71 (1979-8).
- [6] Pierce, F.T.: The Handle of Cloth as a Measurable Quantity, J. Text. Inst., T377, 1930.
- [7] Cooper, D.N.E.: The Stiffness of Woven Textile. J. Text. inst., T472 (1959), T317 (1960).
- [8] Niwa, M., Kawabata, S.: Analysis on the Anisotropic Tensile Properties of Plain Weave Fabrics. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Transactions, Vol. 22, No. 11, T-256-269 (1969).
- [9] Sidabraitė, V.: Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour. Materials Science. Vol. 9, No. 1. 2003.
- [10] Fridrichová, L.: K problematice ohybové tuhosti textilií. [Habilitační práce]. Liberec. RUKOPIS.

PŘÍLOHY

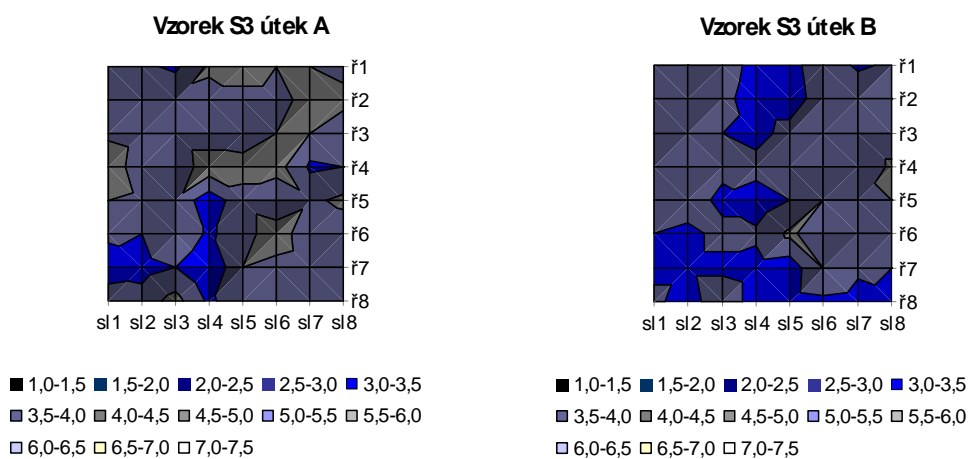
PŘÍLOHA 1 - Rozložení ohybové síly na ploše vzorku 360 x 360 mm.*Obr.1: Rozložení ohybové síly osnovy na vzorku S1.**Obr.2: Rozložení ohybové síly útku na vzorku S1.**Obr.3: Rozložení ohybové síly osnovy na vzorku S2.*



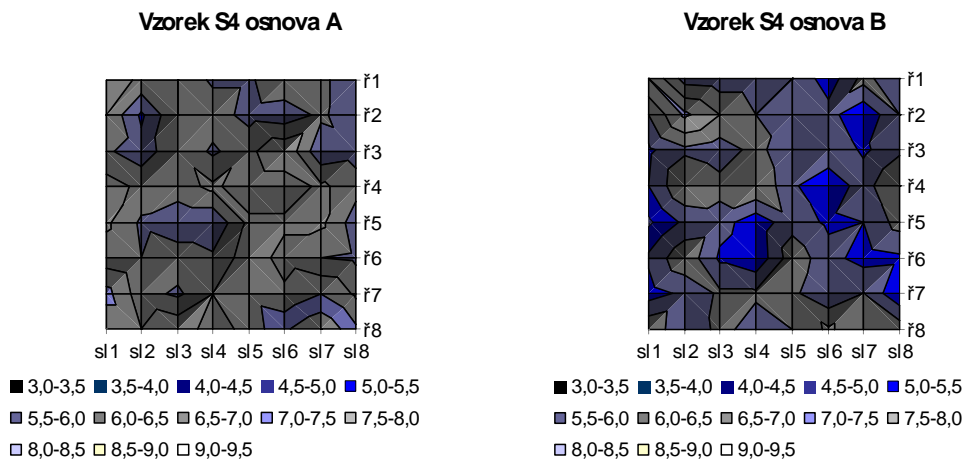
Obr.4: Rozložení ohybové síly útku na vzorku S2.



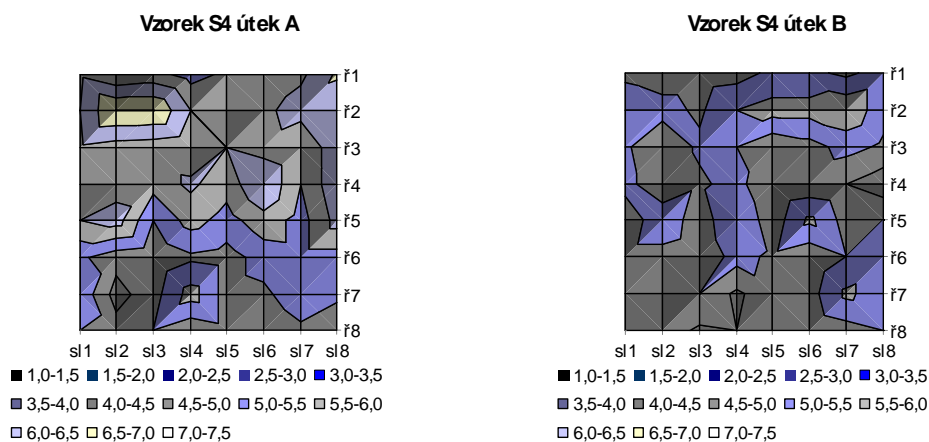
Obr.5: Rozložení ohybové síly osnovy na vzorku S3.



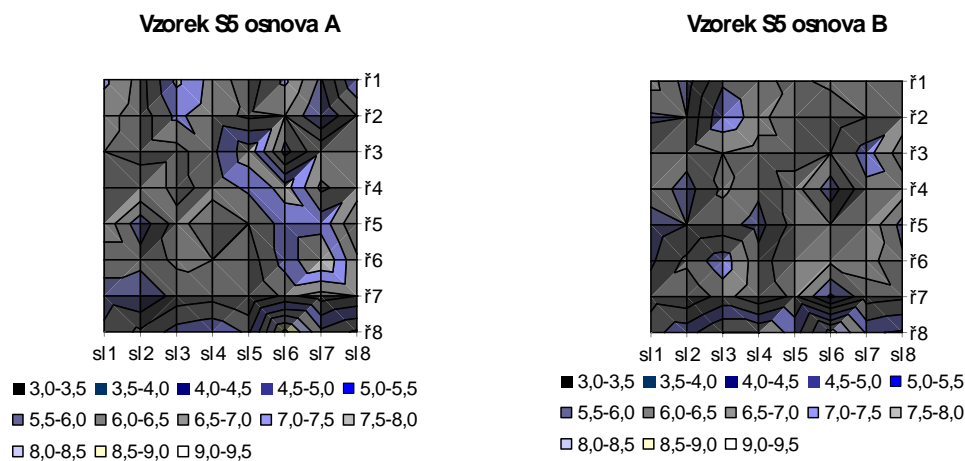
Obr.6: Rozložení ohybové síly útku na vzorku S3.



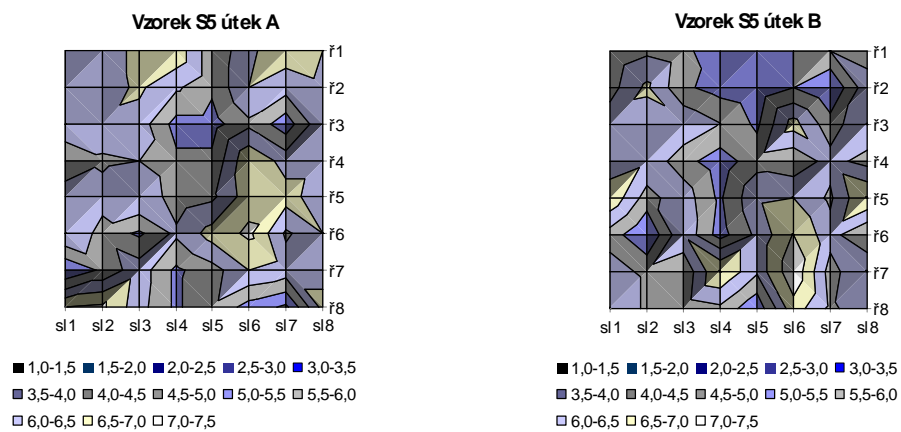
Obr.7: Rozložení ohybové síly osnova na vzorku S4.



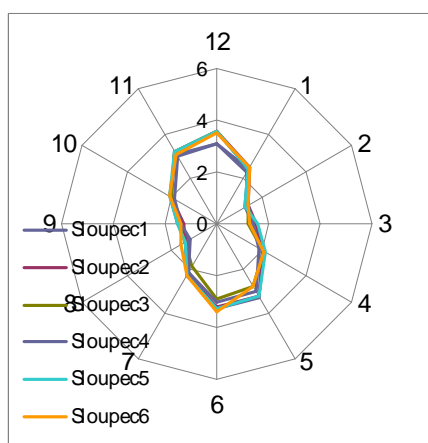
Obr.8: Rozložení ohybové síly tuhosti útku na vzorku S4.



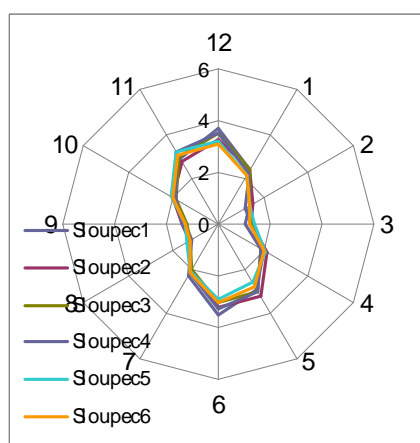
Obr.9: Rozložení ohybové síly tuhosti osnova na vzorku S5.



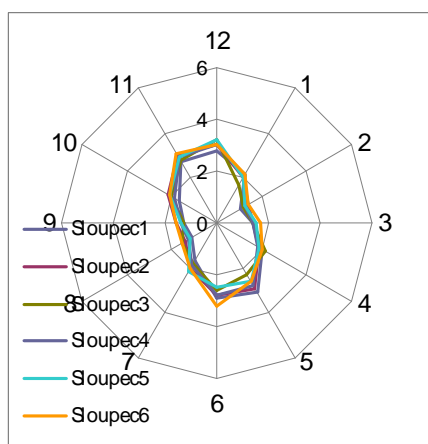
Obr.10: Rozložení ohybové síly útku na vzorku S5.

PŘÍLOHA 2 - Polární diagramy ohybové síly, průměr po řadách

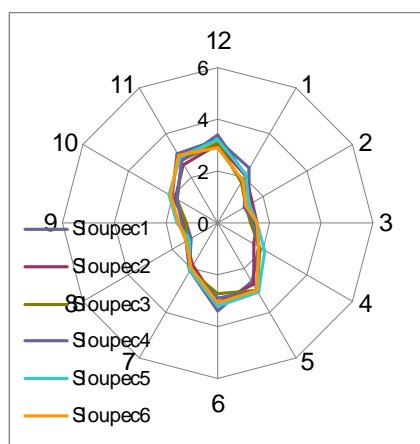
Obr. 11: Polární diagram průměrné ohybové síly v první řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



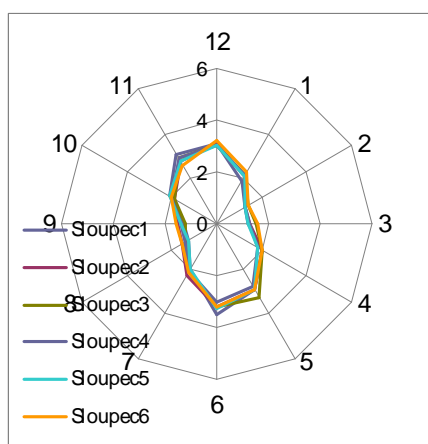
Obr. 12: Polární diagram průměrné ohybové síly ve druhé řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



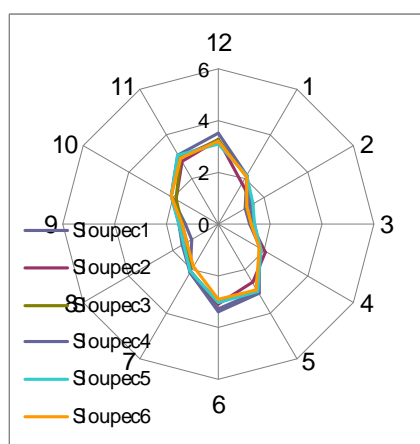
Obr. 13: Polární diagram průměrné ohybové síly ve třetí řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



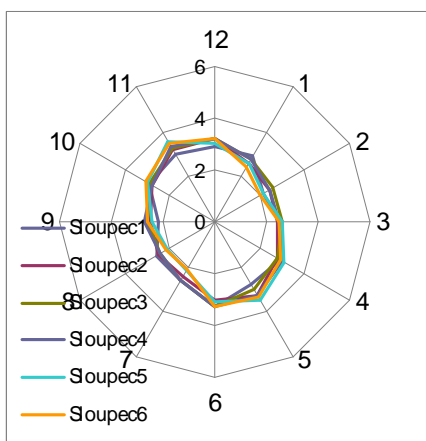
Obr. 14: Polární diagram průměrné ohybové síly ve čtvrté řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



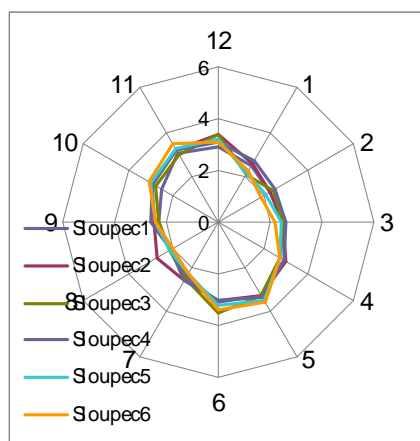
Obr. 15: Polární diagram průměrné ohybové síly v páté řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



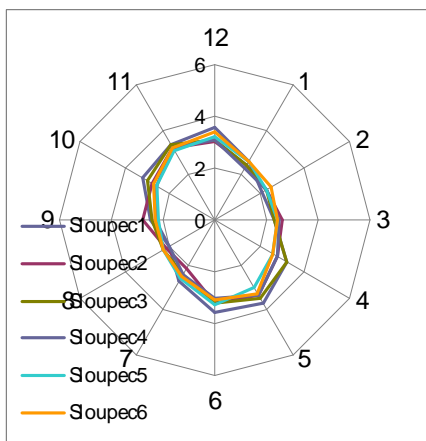
Obr. 16: Polární diagram průměrné ohybové síly v šesté řadě na šesti sloupcích na vzorku S1.



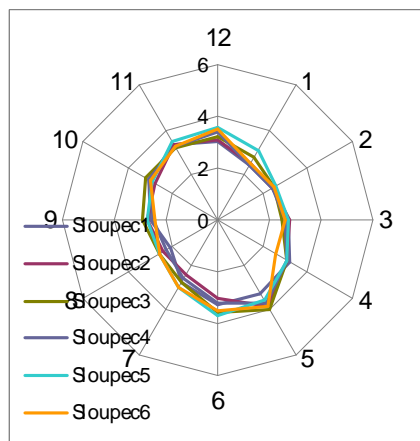
Obr. 17: Polární diagram průměrné ohybové síly v první řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



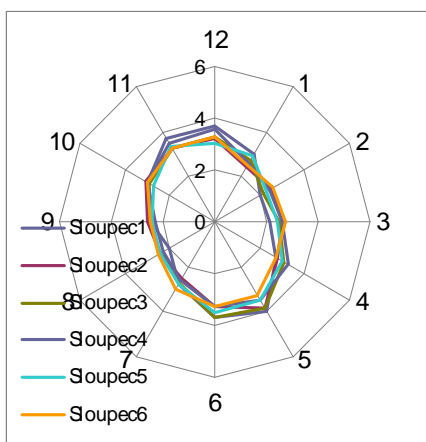
Obr. 18: Polární diagram průměrné ohybové síly ve druhé řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



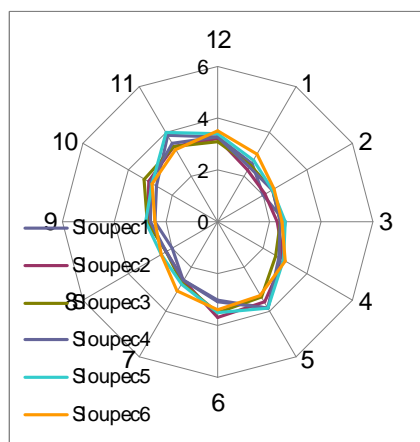
Obr. 19: Polární diagram průměrné ohybové síly ve třetí řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



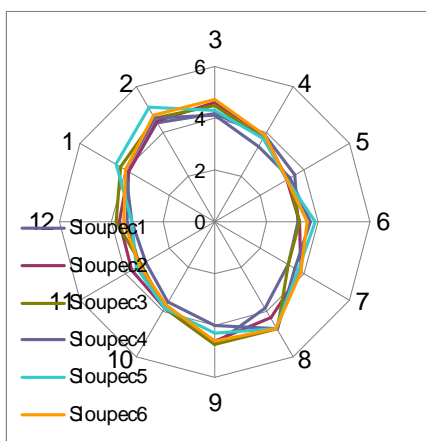
Obr. 20: Polární diagram průměrné ohybové síly ve čtvrté řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



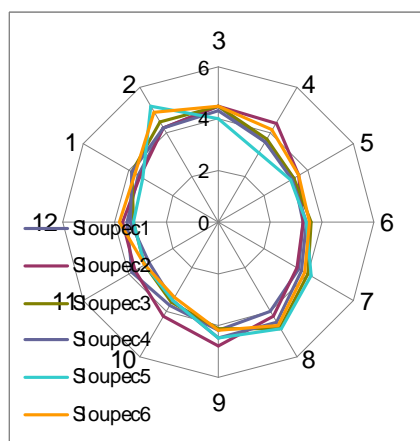
Obr. 21: Polární diagram průměrné ohybové síly v páté řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



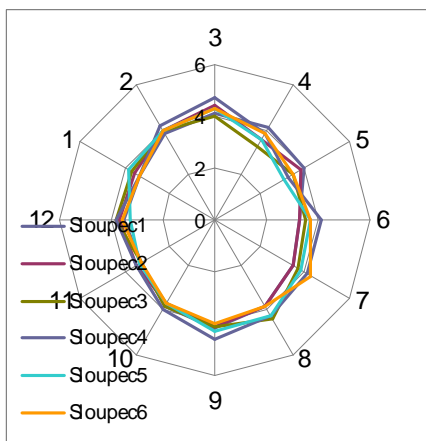
Obr. 22: Polární diagram průměrné ohybové síly v šesté řadě na šesti sloupcích na vzorku S2.



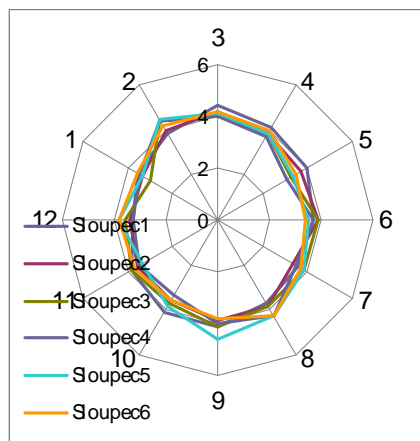
Obr. 23: Polární diagram průměrné ohybové síly v první řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



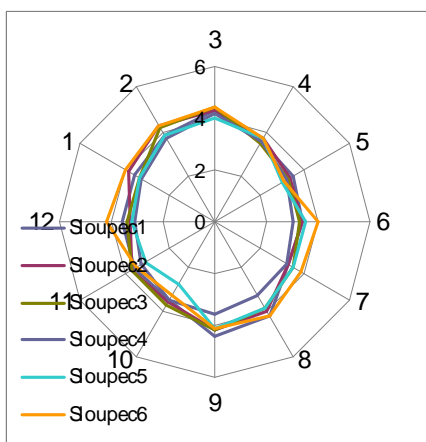
Obr. 24: Polární diagram průměrné ohybové síly ve druhé řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



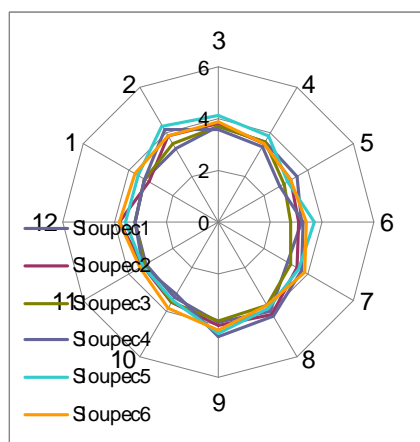
Obr. 25: Polární diagram průměrné ohybové síly ve třetí řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



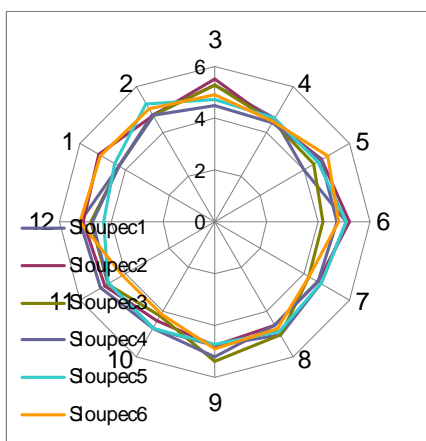
Obr. 26: Polární diagram průměrné ohybové síly ve čtvrté řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



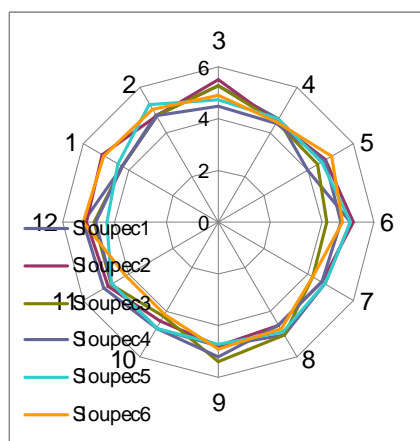
Obr. 27: Polární diagram průměrné ohybové síly v páté řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



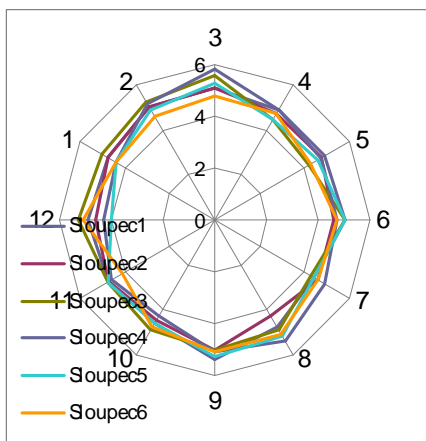
Obr. 28: Polární diagram průměrné ohybové síly v šesté řadě na šesti sloupcích na vzorku S3.



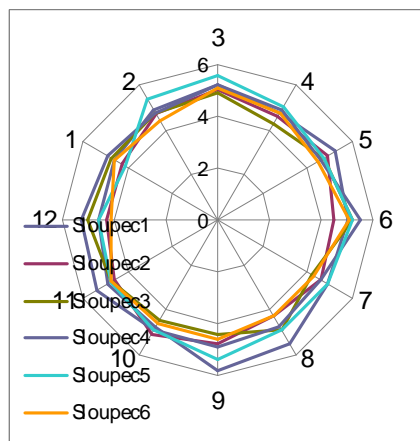
Obr. 29: Polární diagram průměrné ohybové síly první řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



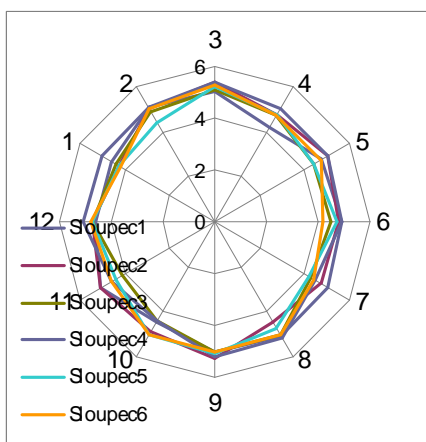
Obr. 30: Polární diagram průměrné ohybové síly ve druhé řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



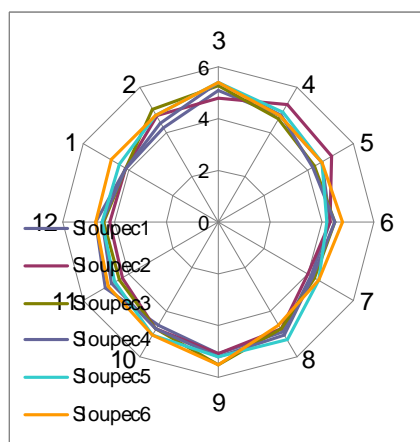
Obr. 31: Polární diagram průměrné ohybové síly ve třetí řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



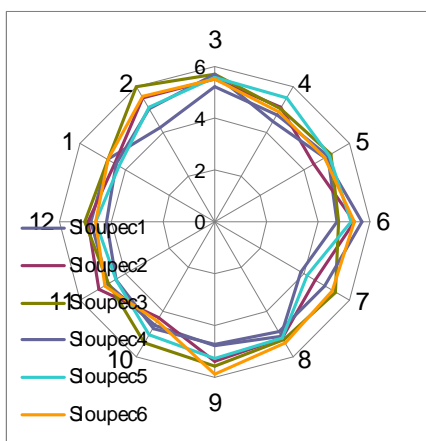
Obr. 32: Polární diagram průměrné ohybové síly ve čtvrté řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



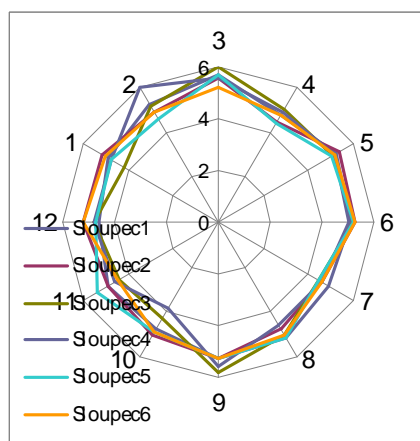
Obr. 33: Polární diagram průměrné ohybové síly v páté řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



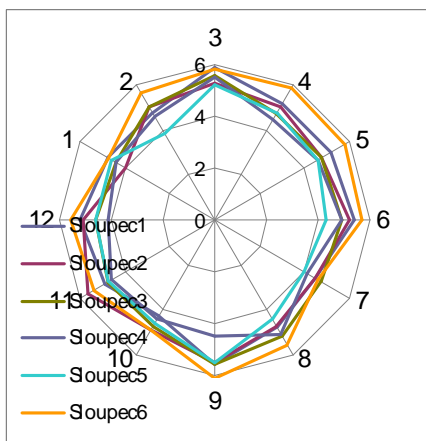
Obr. 34: Polární diagram průměrné ohybové síly v šesté řadě na šesti sloupcích na vzorku S4.



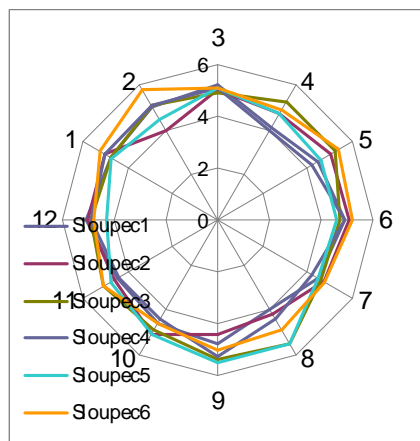
Obr. 35: Polární diagram průměrné ohybové síly v první řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.



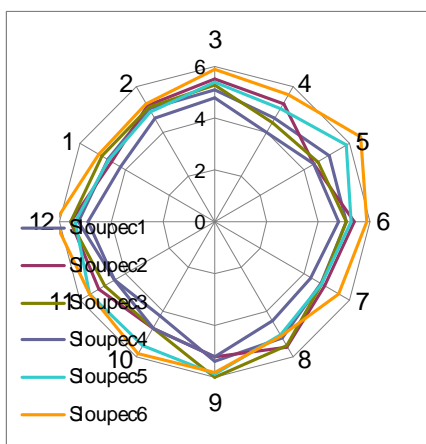
Obr. 36: Polární diagram průměrné ohybové síly ve druhé řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.



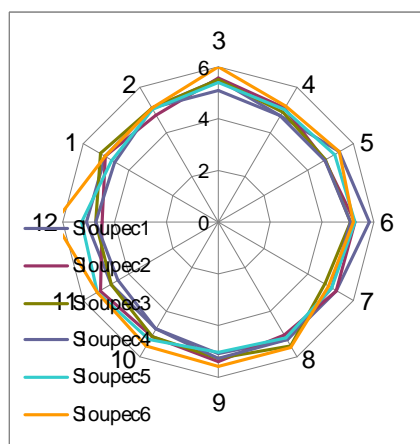
Obr. 37: Polární diagram průměrné ohybové síly ve třetí řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.



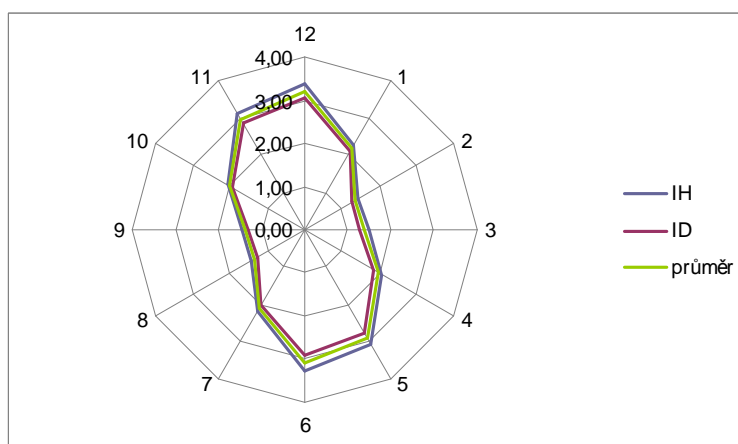
Obr. 38: Polární diagram průměrné ohybové síly ve čtvrté řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.



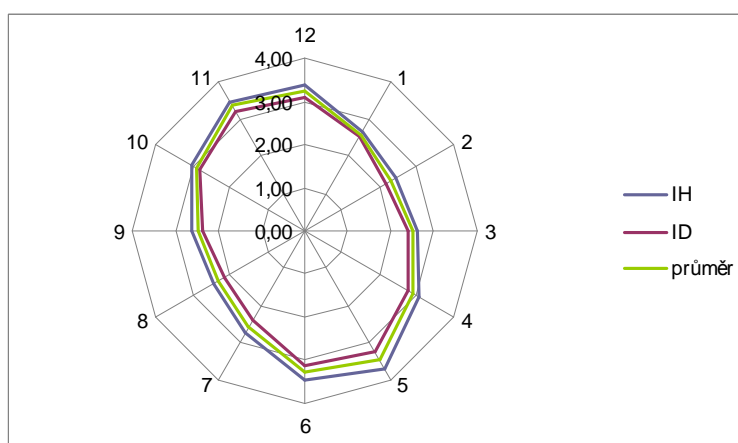
Obr. 39: Polární diagram průměrné ohybové síly v páté řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.



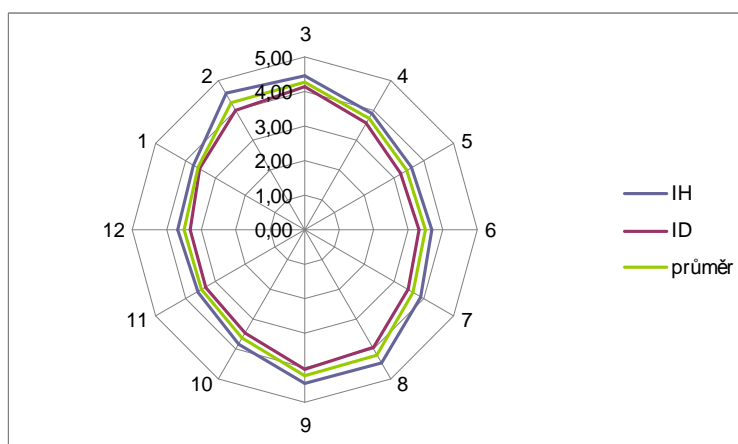
Obr. 40: Polární diagram průměrné ohybové síly v šesté řadě na šesti sloupcích na vzorku S5.

PŘÍLOHA 3 - Polární diagramy ohybové síly, celkový průměr

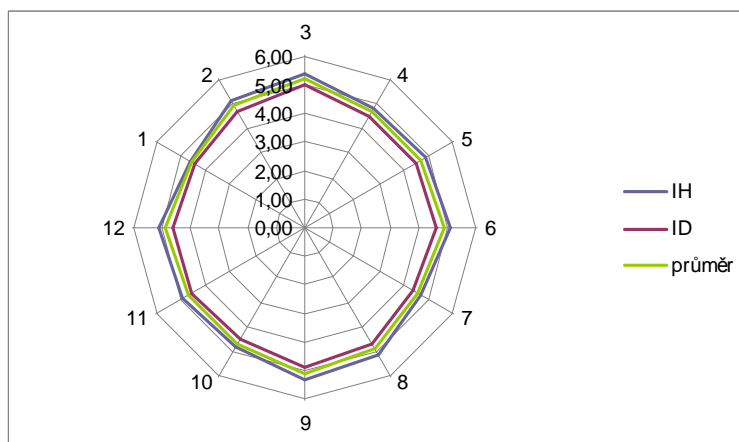
Obr. 41: Polární diagram ohybové síly ve dvanácti různých polohách na vzorku S1.



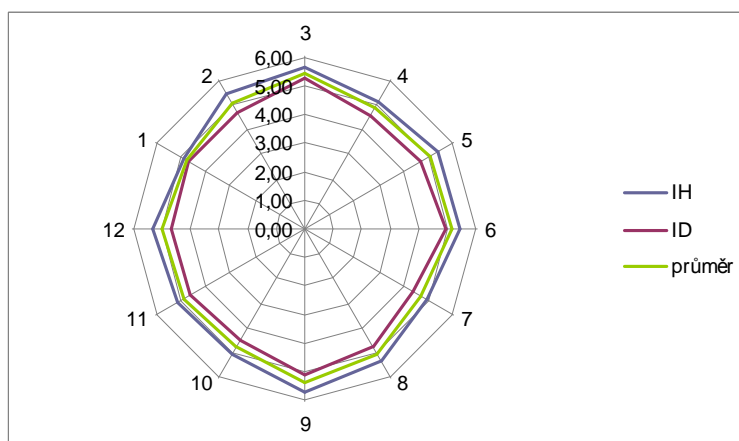
Obr. 42: Polární diagram ohybové síly ve dvanácti různých polohách na vzorku S2.



Obr. 43: Polární diagram ohybové síly ve dvanácti různých polohách na vzorku S3.

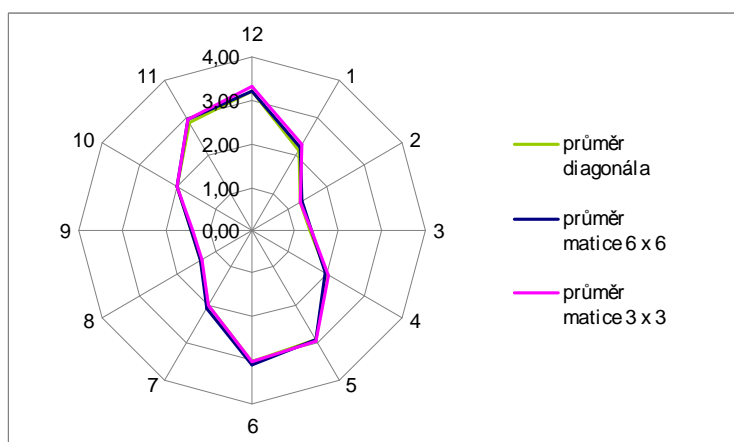


Obr. 44: Polární diagram ohybové síly ve dvanácti různých polohách na vzorku S4.

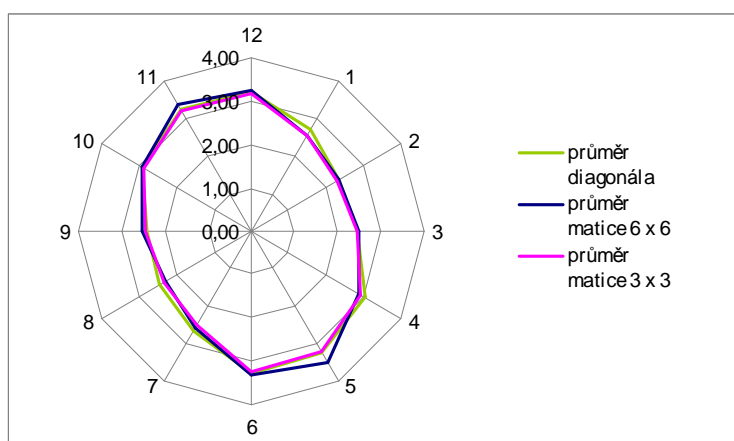


Obr. 45: Polární diagram ohybové síly ve dvanácti různých polohách na vzorku S5.

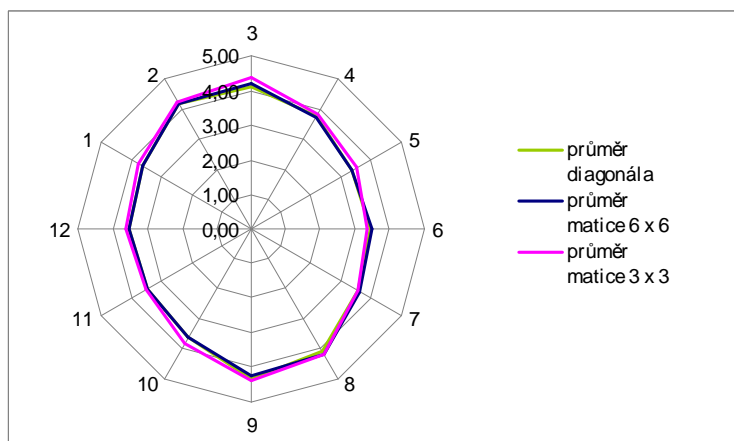
PŘÍLOHA 4 - Polární diagramy ohybové síly, porovnání vzorků po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3



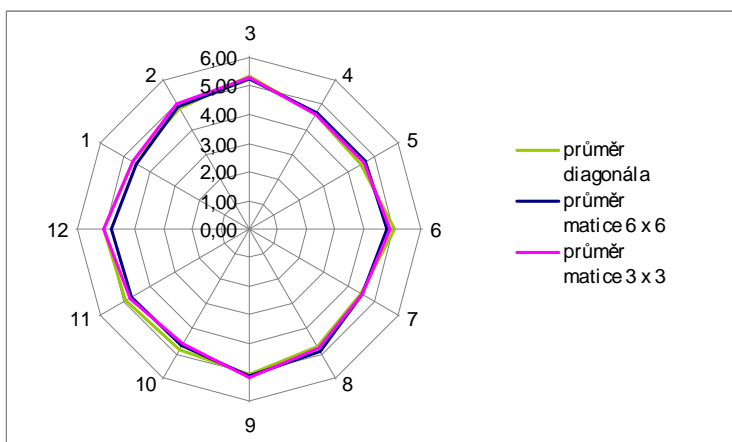
Obr. 46: Polární diagram průměrné ohybové síly po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3 na vzorku S1.



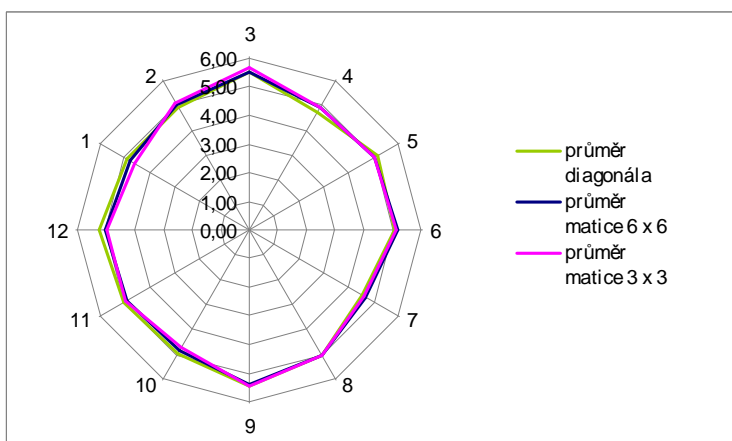
Obr. 47: Polární diagram průměrné ohybové síly po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3 na vzorku S2.



Obr. 48: Polární diagram průměrné ohybové síly po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3 na vzorku S3.



Obr. 49: Polární diagram průměrné ohybové síly po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3 na vzorku S4.



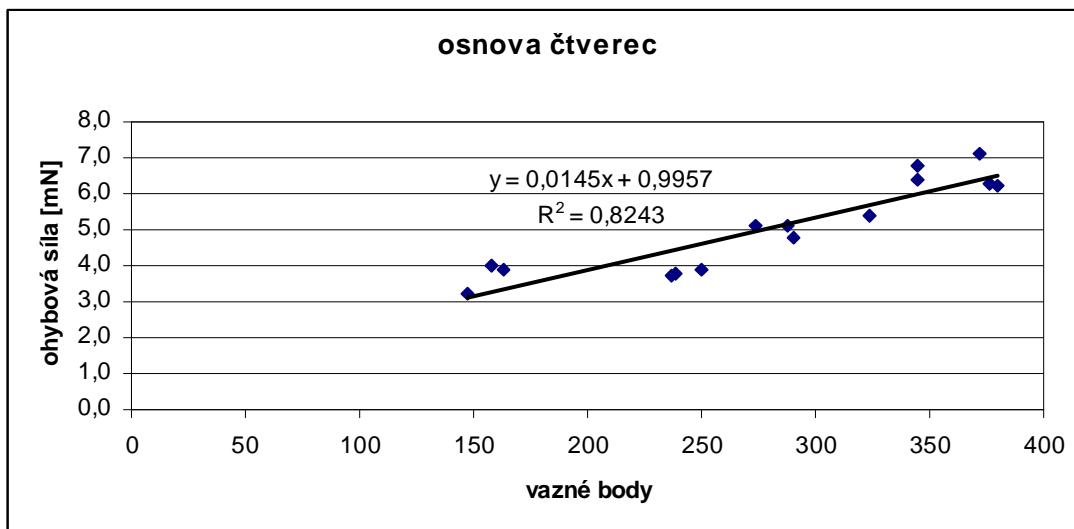
Obr. 50: Polární diagram průměrné ohybové síly po diagonále, v matici 6 x 6 a 3 x 3 na vzorku S5.

PŘÍLOHA 5 - Vliv počtu vazných bodů na ohybovou sílu*Tabulka 1: Počet ohýbaných vazných bodů s příslušnými ohybovými silami v osnově.*

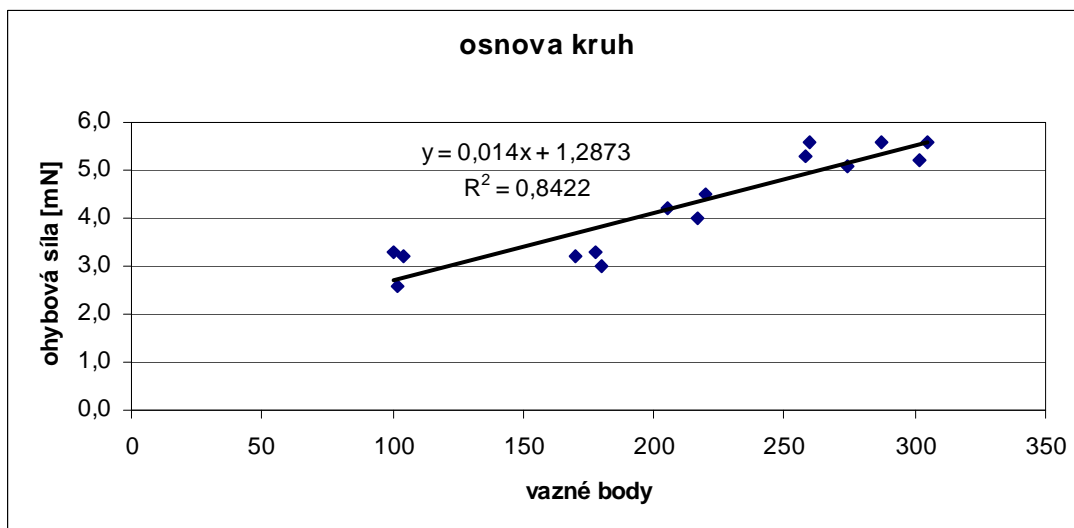
OSNOVA	vzorek	čtverec		kruh	
		tuhost	body	tuhost	body
S1	11	4,0	158	3,3	100
	22	3,9	163	3,2	104
	33	3,2	147	2,6	102
S2	11	3,9	250	3,3	178
	22	3,8	239	3,0	180
	33	3,7	237	3,2	170
S3	11	5,1	288	4,2	205
	22	5,1	274	4,5	220
	33	4,8	290	4,0	217
S4	11	6,8	345	5,3	258
	22	5,4	324	5,1	274
	33	6,4	345	5,6	260
S5	11	7,1	372	5,2	302
	22	6,2	380	5,6	287
	33	6,3	376	5,6	305

Tabulka 2: Počet ohýbaných vazných bodů s příslušnými ohybovými silami v útku.

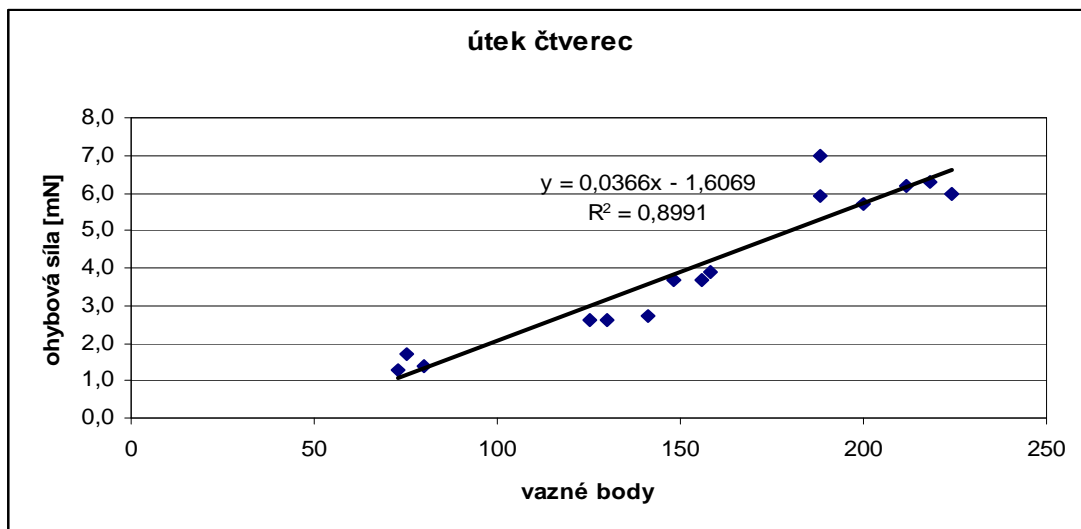
ÚTEK	vzorek	čtverec		kruh	
		tuhost	body	tuhost	body
S1	11	1,4	80	1,4	58
	22	1,3	73	1,3	54
	33	1,7	75	1,4	56
S2	11	2,6	125	2,5	108
	22	2,7	141	2,5	112
	33	2,6	130	2,3	98
S3	11	3,7	148	3,2	120
	22	3,9	158	3,3	114
	33	3,7	156	3,5	138
S4	11	5,9	188	5,1	162
	22	7,0	188	5,1	148
	33	5,7	200	5,0	164
S5	11	6,0	224	4,7	178
	22	6,2	212	5,3	183
	33	6,3	218	4,9	185



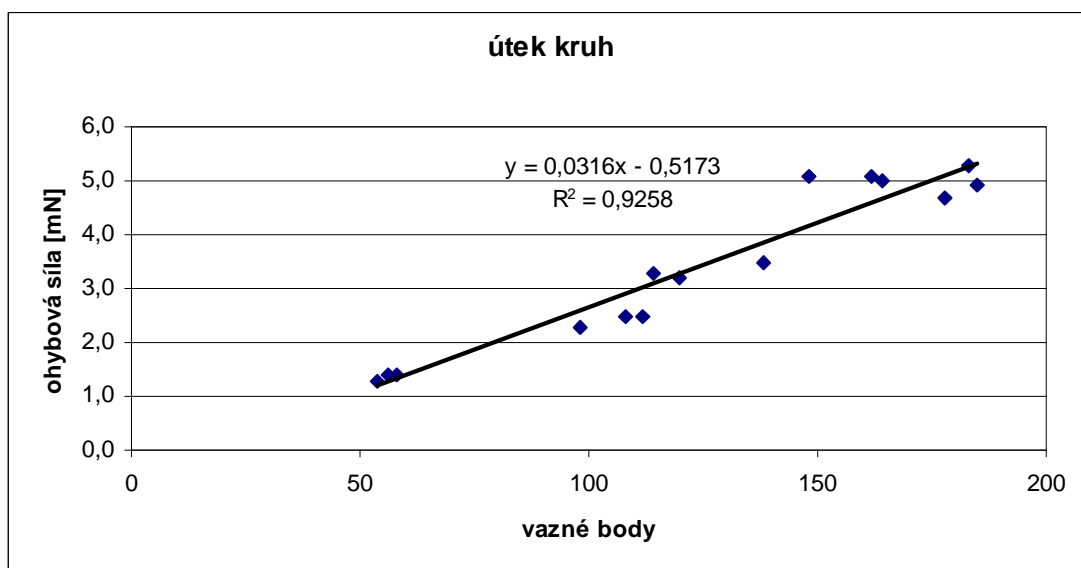
Obr. 51: Graf vlivu počtu vazných bodů na ohybovou sílu v osnově pro čtvercový vzorek.



Obr. 52: Graf vlivu počtu vazných bodů na ohybovou sílu v osnově pro kruhový vzorek.



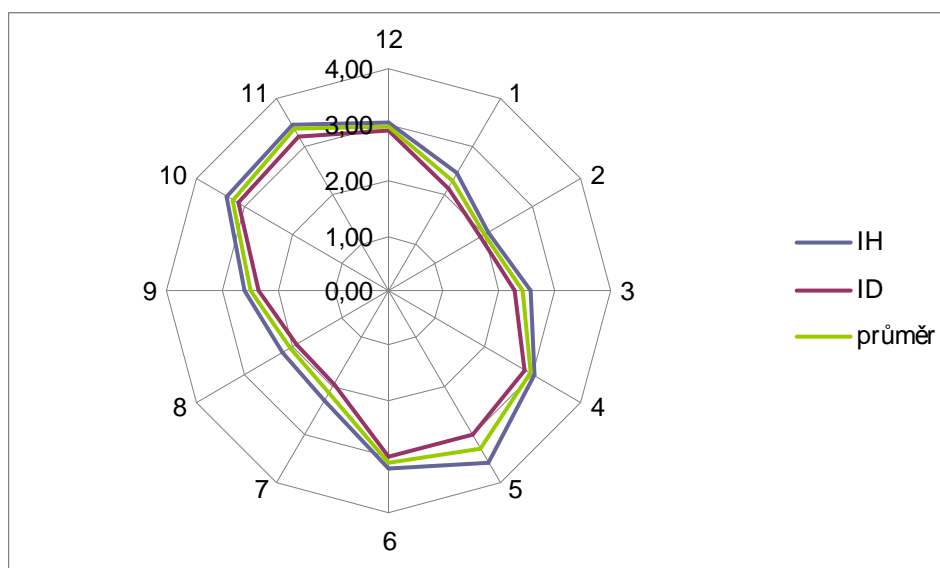
Obr. 53: Graf vlivu počtu vazných bodů na ohybovou sílu v útku pro čtvercový vzorek.



Obr. 54: Graf vlivu počtu vazných bodů na ohybovou sílu v útku pro kruhový vzorek.

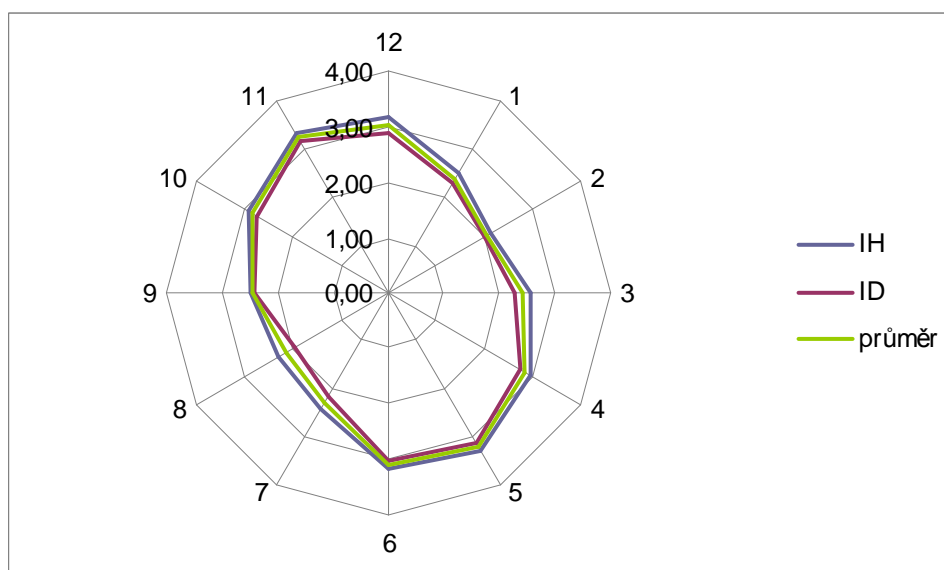
PŘÍLOHA 6 - Opakovaná měření na vzorku S2*Tabulka 3: Hodnoty vzorku S2 pozice v matici vzorků 11.*

	poloha 1	poloha 2	poloha 3	poloha 4	poloha 5	poloha 6	poloha 7	poloha 8	poloha 9	poloha 10	poloha 11	poloha 12
měření 1	2,9	2,2	2,5	2,9	2,2	3,3	2,6	2,6	2,2	2,9	3,0	2,9
měření 2	2,4	2,0	2,7	2,8	3,5	3,3	2,2	1,8	2,5	3,3	3,3	3,0
měření 3	2,3	2,0	2,2	2,7	3,5	3,1	2,1	2,2	2,6	3,3	3,3	3,1
měření 4	2,2	1,8	2,7	2,9	3,0	3,0	1,9	2,1	2,6	3,1	3,4	3,0
měření 5	2,3	2,1	2,3	3,1	3,2	3,0	2,2	2,0	2,3	3,5	3,4	2,8
měření 6	2,2	2,0	2,6	3,2	3,5	3,3	2,3	2,0	2,3	3,3	3,3	2,9
měření 7	2,2	1,9	2,4	3,0	3,2	3,0	2,2	1,8	2,5	3,3	3,3	3,0
měření 8	2,1	1,8	2,4	2,9	3,4	3,2	1,9	2,1	2,7	3,2	3,3	2,8
měření 9	2,3	2,0	2,1	3,0	3,5	2,9	1,8	1,9	2,3	3,2	3,3	2,9
měření 10	2,1	2,1	2,4	2,9	3,5	3,0	2,2	2,1	2,7	3,3	3,4	3,1
průměr	2,3	2,0	2,4	2,9	3,3	3,1	2,1	2,1	2,5	3,2	3,3	3,0
odchylka	0,24	0,12	0,19	0,14	0,40	0,15	0,23	0,22	0,18	0,15	0,16	0,11
IS	0,16	0,08	0,13	0,09	0,28	0,10	0,16	0,15	0,12	0,10	0,11	0,08
IH	2,44	2,08	2,55	3,04	3,56	3,20	2,28	2,21	2,61	3,34	3,45	3,04
ID	2,11	1,91	2,28	2,85	3,00	3,00	1,96	1,90	2,36	3,13	3,22	2,89
var.	10%	6%	8%	5%	12%	5%	11%	11%	7%	5%	5%	4%

*Obr. 55: Polární diagram ohybové síly pro opakovaná měření na vzorku S2, pozice v matici vzorků 11.*

Tabulka 4: Hodnoty vzorku S2 pozice v matici vzorků 22.

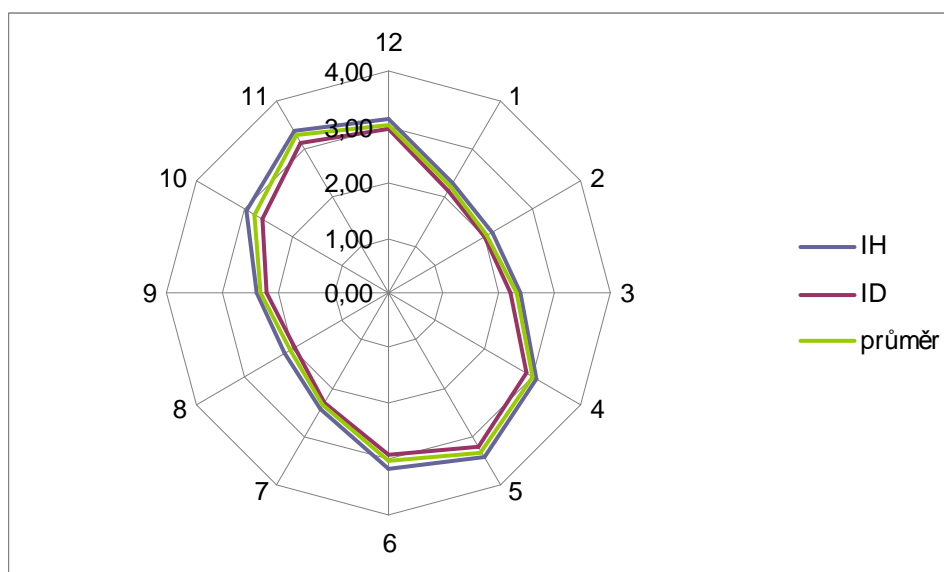
	poloha 1	poloha 2	poloha 3	poloha 4	poloha 5	poloha 6	poloha 7	poloha 8	poloha 9	poloha 10	poloha 11	poloha 12
měření 1	2,6	2,3	2,5	3,0	3,3	3,0	2,6	2,7	2,5	2,9	3,2	3,4
měření 2	2,7	2,0	2,3	2,5	3,3	3,3	2,4	2,1	2,5	2,7	3,3	3,0
měření 3	2,2	2,1	2,2	2,8	3,1	3,2	2,3	2,1	2,4	2,6	3,4	2,9
měření 4	2,2	1,9	2,5	2,8	3,2	3,0	2,4	2,2	2,4	2,9	3,2	2,9
měření 5	2,3	2,0	2,7	2,8	3,0	3,0	2,4	2,0	2,5	2,9	3,3	3,4
měření 6	2,4	1,9	2,2	3,0	3,2	3,0	2,0	2,0	2,4	2,9	3,2	2,8
měření 7	2,4	2,0	2,5	2,7	3,4	3,3	2,2	2,0	2,5	2,8	3,2	2,9
měření 8	2,3	2,1	2,2	3,0	3,2	3,2	2,3	2,0	2,3	2,8	3,0	2,8
měření 9	2,4	2,1	2,5	2,7	3,2	3,0	2,3	1,9	2,4	2,8	3,3	3,2
měření 10	2,5	2,0	2,7	2,9	3,2	3,1	2,1	2,2	2,5	3,1	3,3	3,0
průměr	2,4	2,0	2,4	2,8	3,2	3,1	2,3	2,1	2,4	2,8	3,2	3,0
odchylka	0,17	0,11	0,20	0,16	0,10	0,13	0,18	0,22	0,07	0,13	0,10	0,22
IS	0,12	0,08	0,14	0,11	0,07	0,09	0,13	0,15	0,05	0,09	0,07	0,15
IH	2,50	2,12	2,55	2,95	3,28	3,19	2,40	2,26	2,49	2,93	3,31	3,17
ID	2,27	1,97	2,27	2,72	3,14	3,01	2,14	1,96	2,40	2,75	3,17	2,87
var.	7%	6%	8%	6%	3%	4%	8%	10%	3%	5%	3%	7%



Obr. 56: Polární diagram ohybové síly pro opakovaná měření na vzorku S2, pozice v matici vzorků 22.

Tabulka 5: Hodnoty vzorku S2 pozice v matici vzorků 33.

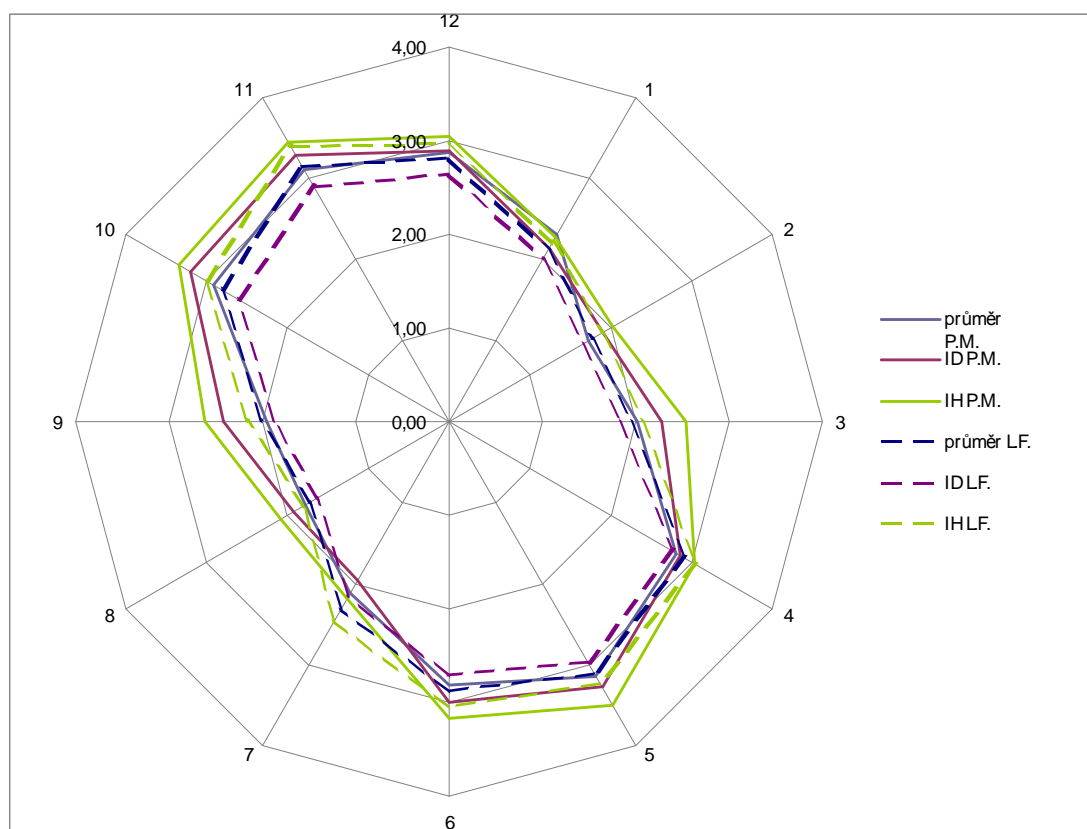
	poloha 1	poloha 2	poloha 3	poloha 4	poloha 5	poloha 6	poloha 7	poloha 8	poloha 9	poloha 10	poloha 11	poloha 12
měření 1	2,4	2,3	2,3	3,2	3,5	3,2	2,4	2,3	2,4	3,0	3,4	3,1
měření 2	2,3	2,1	2,1	2,9	3,4	3,1	2,6	2,0	2,5	2,8	3,4	3,1
měření 3	2,2	2,1	2,4	3,1	3,4	3,1	2,4	2,3	2,2	3,1	3,5	3,0
měření 4	2,2	2,0	2,3	3,1	3,1	3,2	2,2	2,1	2,4	3,0	3,3	3,2
měření 5	2,4	2,2	2,5	3,1	3,5	3,0	2,3	2,1	2,3	2,8	3,5	3,0
měření 6	2,2	2,1	2,4	3,0	3,3	3,2	2,4	1,9	2,3	2,6	3,3	3,0
měření 7	2,0	1,9	2,2	3,0	3,3	2,9	2,4	1,9	2,3	2,8	3,1	3,1
měření 8	2,2	2,1	2,4	3,1	3,4	3,2	2,2	2,0	1,9	2,3	3,3	3,2
měření 9	2,2	2,0	2,2	3,0	3,3	2,9	2,4	2,2	2,3	2,8	3,0	2,9
měření 10	2,2	1,9	2,2	2,8	3,2	2,7	2,3	1,8	2,3	2,7	3,1	3,0
průměr	2,2	2,1	2,3	3,0	3,3	3,0	2,3	2,1	2,3	2,8	3,3	3,0
odchylka	0,13	0,12	0,12	0,17	0,16	0,17	0,12	0,16	0,15	0,22	0,17	0,12
IS	0,09	0,08	0,08	0,12	0,11	0,12	0,08	0,11	0,10	0,15	0,12	0,08
IH	2,30	2,15	2,38	3,11	3,42	3,15	2,43	2,17	2,40	2,94	3,39	3,12
ID	2,12	1,98	2,21	2,87	3,20	2,92	2,26	1,94	2,19	2,64	3,15	2,95
var.	6%	6%	5%	6%	5%	6%	5%	8%	7%	8%	5%	4%



Obr. 57: Polární diagram ohybové síly pro opakovaná měření na vzorku S2, pozice v matici vzorků 33.

Tabulka 6: Hodnoty vzorku S2, pozice v matici vzorků 11, měření Ludmily Fridrichové.

	poloha 1	poloha 2	poloha 3	poloha 4	poloha 5	poloha 6	poloha 7	poloha 8	poloha 9	poloha 10	poloha 11	poloha 12
měření 1	2,6	3,0	3,2	2,3	2,2	2,2	3,3	3,2	2,8	2,5	1,5	2,1
měření 2	3,2	3,3	2,8	2,2	1,6	1,7	2,6	3,0	3,0	2,4	1,7	2,2
měření 3	3,0	3,4	2,5	2,0	2,0	1,8	2,8	3,4	2,7	2,0	1,7	1,6
měření 4	2,5	2,7	2,4	2,0	1,8	1,9	2,6	3,2	2,4	2,1	1,5	1,9
měření 5	2,7	2,6	2,6	1,9	1,8	1,7	2,8	3,1	2,9	1,9	1,7	2,1
měření 6	2,6	3,7	3,1	2,1	1,6	1,8	2,9	2,7	3,2	2,4	1,9	2,2
měření 7	2,9	2,7	2,8	1,9	1,5	2,1	3,1	3,1	2,7	2,3	1,7	2,4
měření 8	3,1	3,1	2,8	2,3	1,8	2,1	3,1	2,8	2,8	2,4	1,8	1,8
měření 9	2,3	3,7	3,1	2,2	1,8	2,0	2,8	3,2	3,4	2,6	1,9	1,9
měření 10	3,2	3,2	2,8	2,2	1,7	2,2	3,1	3,3	2,9	2,4	1,8	2,0
průměr	2,81	3,14	2,81	2,11	1,78	1,95	2,91	3,10	2,88	2,30	1,72	2,02
odchylka	0,31	0,40	0,26	0,15	0,20	0,20	0,23	0,22	0,28	0,23	0,14	0,23
IS	0,19	0,25	0,16	0,09	0,13	0,12	0,14	0,13	0,17	0,14	0,09	0,14
IH	3,00	3,39	2,97	2,20	1,91	2,07	3,05	3,22	3,05	2,44	1,81	2,16
ID	2,62	2,89	2,26	2,02	1,65	1,83	2,77	2,97	2,71	2,16	1,63	1,88
var.	11%	13%	9%	7%	11%	10%	8%	7%	10%	10%	8%	11%



Obr. 58: Polární diagram porovnání 10 měření ohybové síly na vzorku S2, pozice v matici 11. P.M.-měření Petry Müllerové, L.F.-měření Ludmily Fridrichové.